

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第4287522号
(P4287522)

(45) 発行日 平成21年7月1日(2009.7.1)

(24) 登録日 平成21年4月3日(2009.4.3)

(51) Int.Cl.
G O 2 B 27/28 (2006.01)

F I
G O 2 B 27/28 A

請求項の数 8 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願平10-331017	(73) 特許権者	506076606
(22) 出願日	平成10年11月20日(1998.11.20)		アバゴ・テクノロジーズ・ジェネラル・ア
(65) 公開番号	特開平11-218722		イビー (シンガポール) プライベート・リ
(43) 公開日	平成11年8月10日(1999.8.10)		ミテッド
審査請求日	平成17年11月21日(2005.11.21)		シンガポール国シンガポール768923
(31) 優先権主張番号	975615		, イーシュン・アベニュー・7・ナンバー
(32) 優先日	平成9年11月21日(1997.11.21)		1
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100087642
			弁理士 古谷 聡
		(74) 代理人	100076680
			弁理士 溝部 孝彦
		(74) 代理人	100121061
			弁理士 西山 清春

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分割光学素子及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学素子（80及び82；118及び120）の製造方法であって、
3つ以上の光学部材（12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32及び34；86、88、
90、92、94、96、98、100、102、104、106及び108）を並んだ構成に整列させ、各光学部
材の少なくとも1つの表面が前記構成における隣接光学部材の表面と接触するようにし、
かつ前記隣接光学部材が、前記接触する表面と平行な方向に伝搬する光の偏光成分（158
、160、162及び164）の操作に関して異なる光学特性を備えるようにし、
前記並んだ構成の光学部材を、互いに対して平行でない、第1の一連の平行な切断およ
び第2の一連の平行な切断で分割して（56、58、60、62、64、66、68、70、72、74、76及
び78；及び112及び114）、複数の別個の光学素子を形成して、各光学素子が2つの隣接光
学部材のそれぞれからのセグメント（12a、12b、14a、14b、16a、16b、18a、18b
、20a、20b、22a；及び121、122、123及び124）を含むようにし、これによって偏光成
分の操作に関して、第1の光学特性を備える第1の部分と、前記第1の光学特性とは異なる
第2の光学特性を備える第2の部分を含むように前記各光学素子が形成されることを含
む、製造方法。

【請求項 2】

前記光学部材を整列させることが、複数のウォークオフ結晶（12、14、16、18、20、22
、24、26、28、30、32及び34；86、88、90、92、94、96、98、100、102、104、106及び10
8）を透明基板（36；及び110）に固定して、前記光学部材が、縦方向に沿って接して、前

10

20

記結晶が前記縦方向に垂直な方向に沿って連続的に付番された場合に、奇数番号の結晶のウォークオフ方向が偶数番号の結晶のウォークオフ方向と正反対であるパターンが形成されるようにすることである、請求項 1 に記載の製造方法。

【請求項 3】

前記光学部材（12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32及び34）を、前記第 1 の一連の切断で分割する（56、58、60、62、64、66、68、70、72、74、76及び78）ことが、前記ウォークオフ結晶のそれぞれを前記縦方向に対して平行にダイシングすることを含み、それによって前記奇数番号の結晶の 1 つのセグメント（12 b 及び14 b ）及び前記偶数番号の結晶の 1 つのセグメント（14 a 及び16 a ）を支持する前記透明基板の領域を含むように、各光学素子（80及び82）が形成される、請求項 2 に記載の製造方法。

10

【請求項 4】

前記光学部材を、前記第 2 の一連の切断で分割することが、前記ウォークオフ結晶（12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32及び34）のそれぞれ及び前記透明基板（36）を、前記縦方向に対して垂直にダイシングする（38、40、42、44、46、48を、50及び52）ことを含み、前記構成において各対をなす奇数番号及び偶数番号の結晶から複数の前記光学素子（80及び82）が形成される、請求項 3 に記載の製造方法。

【請求項 5】

前記光学部材（86、88、90、92、94、96、98、100、102、104、106及び108）の構成が、互い違いのウォークオフ方向を備える接触ウォークオフ結晶のパターンをなし、前記光学部材を分割することは、前記第 2 の一連の切断が前記第 1 の一連の切断に垂直であるように前記構成をダイシング（112及び114）することを含み、前記第 1 の一連の切断が前記第 2 の一連の切断と前記隣接光学部材の前記接触表面の界面（116及び126）においてのみ交差し、これによって前記ウォークオフ方向に対して鋭角をなし、かつ前記界面に対して平行である側部を備える前記光学素子（118及び120）が形成される、請求項 1 に記載の製造方法。

20

【請求項 6】

前記光学部材（12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32及び34；86、88、90、92、94、96、98、100、102、104、106及び108）を整列させることが、前記光学部材を透明基板（36；及び110）に固定して、前記光学部材が隣接光学部材に接触するようにすることを含む、請求項 1 に記載の製造方法。

30

【請求項 7】

前記基板が、ガラス基板（36）であり、前記光学部材（12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32及び34）がバーであり、前記光学部材を分割することが、縦方向と横方向の両方向に前記バーをダイシングして、前記複数の別個の光学素子（80及び82）を形成することを含む、請求項 6 に記載の製造方法。

【請求項 8】

前記光学部材を整列させることが、光学的に透明なエポキシを利用して、前記光学部材を前記基板（36；及び110）に固定することを含み、前記光学部材がウォークオフ結晶である、請求項 6 又は 7 に記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

40

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、一般に伝搬する光の偏光成分を操作するための光学素子に関するものであり、とりわけ分割光学素子の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光ファイバを介した光信号の伝送に基づく通信ネットワークの適応性及び信頼性は、光サーキュレータ及び光アイソレータのようなアセンブリが利用可能になることによって大幅に向上した。例えば、3ポートサーキュレータを用いることによって、2つの遠隔サイト間における双方向通信に単一ファイバを利用することが可能になる。非可逆性光学素子、

50

すなわち異なる方向に移動する光に別様に影響する素子を利用することによって、双方向ファイバは、入力ファイバと出力ファイバの両方に光学的に結合することが可能になる。非可逆作用によって、逆方向の光ビームの「ウォークオフ」すなわち空間変位に差が生じるので、入力ファイバ及び出力ファイバは、互いに光学的に分離される。

【0003】

光アイソレータには、単一モードのファイバのみが含まれる。入力ファイバによって、光信号が光学アセンブリに送り込まれ、光学アセンブリでは、光を偏光成分に分割し、偏光成分に対して非可逆作用を及ぼし、出力ファイバにおける出力に関する、偏光成分を再結合する。この非可逆作用は、逆方向の光が入力ファイバとのアライメントがとれる見込みを低下させるように設計されている。

10

【0004】

光サーキュレータ又はアイソレータを含むシステムはしばしば、平行ファイバの1つへもしくは1つから、光学アセンブリを介して、伝搬するビームの偏光成分に操作を加える光学素子のアセンブリの端部の1つに関して平行な2つ以上のファイバを備えている。一般にこうしたアセンブリにおける各素子は、2つの平行ビームを別様に取り扱うように設計されたシステム内にあっても、全ての偏光成分の光路内における単体部材である。これによって、アセンブリ内において必要とされる光学素子の数がより増加し、そのためにファイバ間の信号クロストークが強まる可能性がある。光サーキュレータ又はアイソレータ内のクロストークは、入力ファイバから意図された出力ファイバではないファイバへの光の伝送である。信号クロストークの原因の1つは、アセンブリ内の個々の光学素子からの後方反射である。

20

【0005】

単体光学素子に対する代替案として、光サーキュレータ及びアイソレータには、分割光学素子が含まれる場合もある。Kogaに対する米国特許第5,204,771号には、分割光学素子を備える光サーキュレータの記載がある。光学素子の一部は、可逆性時計廻り方向回転子であり、その隣接部分は、可逆性反時計廻り方向回転子である。入射光は、分割光学素子の直前の複屈折結晶板によって2つの成分に分離される。結晶板は、一方の光成分を可逆性時計廻り方向回転子に送り、もう一方の光成分を反時計廻り方向回転子に送る。これによって、2つの光成分を個別に、ただし同時に操作することが可能になる。Kogaの特許には、単一光学素子に光成分の選択的回転を可能にする4つの部分が備わった実施態様が含まれている。Chengらに対する米国特許第5,471,340号には、分割された成分回転素子を備える光学アセンブリも記載されている。この分割素子は、独立した偏光回転を実現するように設計され、矩形素子部分を含んでいるので、Kogaの回転素子と同様である。

30

【0006】

1997年2月25日に提出され、本発明の譲受人に譲渡された、Changらの米国特許出願第08/805,001号には、分割偏光回転子の記載もある。ファラデー回転子が、分割偏光回転子の後方側に位置する。入射ビームは、第1と第2の偏光成分に分割される。第1の偏光成分が、分割偏光回転子の「正の片側」を通過し、反時計廻り方向に45度だけ回転し、次にファラデー回転子によって引き起こされる45度の時計廻り方向の回転によってもとの配向に戻される。一方第2の偏光成分は、分割偏光回転子の「負の片側」を通過し、時計廻り方向に45度だけ回転した後、ファラデー回転子によって、さらに45度だけ時計廻り方向に回転することになる。このため、第1の偏光成分の回転は、合計で0度になり、第2の偏光成分の回転は、合計で90度になる。このChangの参考文献には、分割偏光コンポーネントの製造方法について記載がある。偏光成分を回転させるための所望の光学特性を備えた一対の二分の一波長板ブロックが設けられる。ブロックは、それぞれ縦方向に等しい寸法になるように分割される。ブロックの1つからの片側には、適合する接着剤の薄層が塗布され、もう1つのブロックからの片側に接触させられる。接着剤が硬化すると、分割偏光回転子が形成される。第2の分割偏光回転子は、2つのブロックの残された2つの片側を利用して形成することが可能である。この製造方法は、その意図する目的にはうまく役立つが、このプロセスは労働集約的である。

40

50

【 0 0 0 7 】

【 発明が解決しようとする課題 】

本発明の目的は、偏光成分を個別に操作できるようにする分割光学素子のコスト効率の高い製造方法を提供することにある。本発明のもう1つの目的は、偏光成分の個別空間分離を容易にする分割ウォークオフ素子を提供することにある。

【 0 0 0 8 】

【 課題を解決するための手段 】

分割光学素子を一括して製造する方法には、並べて配置された光学部材のグループのアライメントをとって、各光学部材の少なくとも1つの表面が、光の偏光成分の操作に関して異なる光学特性を備える隣接光学部材の表面と接するようにすることが含まれる。偏光成分の所望の操作は、偏光回転とすることが可能であるが、望ましい実施態様においては、その操作は偏光成分の制御されたウォークオフである。この望ましい実施態様では、隣接光学部材のウォークオフ方向は逆方向である。

10

【 0 0 0 9 】

光学部材は、バーとすることが可能であり、この場合接触表面は、両端のバー以外、各バーの縦方向における向かい合う側面となる。バーは全て、ガラス基板のような光学的に透明な薄い基板に対して固定される。光学部材を分割して、各々が異なる光学特性の2つの部分を備える、個別分割光学素子を形成する、ダイシングステップの間、基板は光学部材を支持している。

20

【 0 0 1 0 】

実際態様の1つでは、ダイシング手順が、基板及び光学部材に第1と第2の一連の切断を施すことによって実施される。各光学部材は縦方向に切断されることによって、2つの等しいセグメントとなる。横方向に第2の一連の切断を施すことによって、個別光学素子が得られる。光学素子のそれぞれは、2つの寸法は等しいが、光学特性は異なる2つの光学部材の部分を支持するガラス基板のセグメントを含む。ウォークオフ距離とウォークオフ結晶の厚さの間には直接的な関係があるので、2つの部分の厚さは意図される用途によって決まる。本実施態様の一例として、10mmの長さを備えた、ウォークオフ結晶の30個のバーが、ウォークオフ方向が互い違いのパターンをなすようにガラス基板にエポキシ樹脂で接着される場合、縦方向に切断することにより、29個の分割光学素子が得られ、さらに互いにエポキシ樹脂で接着することによって、30番目の分割光学素子を形成することが可能

30

【 0 0 1 1 】

もう1つの実施態様の場合、光学部材に対する第1と第2の一連の切断は、隣接光学部材の界面に対して鋭角をなす。例えば、バーの間の界面においてのみ、+45度及び-45度の切断を交差させることが可能である。これらの切断によって形成される分割光学素子の数は、バーの数に対して1:2の比になる。これは、切断が界面に対して平行及び垂直をなす、第1の実施態様によって得られる1:1の比に匹敵するが、この第2の実施態様におけるバーの厚みは、第1の実施態様におけるバーの厚みの50%しか必要としない。

40

【 0 0 1 2 】

基板に固定される光学素子が、互い違いのウォークオフ方向を有するウォークオフ結晶である場合、及び界面に対して45度の角度で切断される場合、その結果得られる分割光学素子は、斜めの分割に対して各々平行である反対向きのウォークオフ方向を有する第1と第2の部分に斜めに分割される素子となる。これらの光学素子は、光サーキュレータ又はアイソレータ内において素子をアSEMBルする際のアライメントプロセスを容易にする。

【 0 0 1 3 】

この製造プロセスでは、光学素子の一括形成を可能にすることによって、分割光学素子の形成コストが低下する。鋸と結晶の間の精密アライメント回数を従来の製造手順に必要とされるよりも少ない回数で、所定の数の分割光学素子を製造することが可能になる。もう

50

1つの利点は、第2の実施態様によって、ファイバと光学素子の間の精密アライメントが容易になるということである。

【0014】

【発明の実施の形態】

図1及び2を参照すると、光学部材12及び14、16、18、20、22、24、26、28、30、32、34のアレイ10が、図示のように、基板36に固定されている。製造手順の説明においてより十分に明らかになるように、隣接光学部材のセグメントを利用して、異なる光学特性を示す第1と第2の部分を用意する分割光学素子が形成される。従ってアレイ10は、異なる光学特性を備えた光学部材から構成されなければならない。アレイが2つのタイプの光学部材(タイプ「a」及びタイプ「b」)を含むならば、望ましい実施態様では、各部材の光学特性は、a、b、a、b・・・のパターンをなすようにして、両方の隣接部材から区別することが可能である。しかしながらこの製造手順の用途によっては、全ての隣接光学部材ではなく、隣接する対をなす光学部材に互い違いのパターンを適用することが有効な場合もある。この望ましさを点で劣る実施態様の場合、パターンは、a、b、a、b・・・ではなく、a、b b、a a、b b・・・になる。

【0015】

光学特性の相違は、厚み(T)方向に光学部材12~34を介して伝搬する少なくとも1つの偏光成分の操作に関連している。この操作は、二分の一波長板を用いて得られるような偏光回転とすることが可能である。しかしながら望ましい実施態様の場合、光学部材はウォークオフ結晶である。ウォークオフ方向の互い違いのパターンが、個別光学部材12~34の上の矢印によって示されている。

【0016】

ウォークオフ結晶を形成するための許容可能な材料には、ルチル(二酸化チタン TiO_2)又はバナジン酸イットリウム(YVO_4)がある。当該技術において周知のように、ウォークオフ光学素子の厚みは、結晶を介して伝搬中に特定のアライメントがとれる偏光成分の所望の空間変位によって決定される。例えば0.0885mmのウォークオフ離隔距離を実現するには、ルチル結晶は約0.885mmの厚みにすればよい。

【0017】

光学部材12~34の長さ(L)は、光学部材の厚みTによって決まるウォークオフ離隔距離に適應するのに十分であることが望ましい。この光学要件を超える、取扱いを容易にして十分な構造の完全性を得るのに十分な長さ幅を与えることが実施上必要である。許容可能な長さは、1.0mmであるが、図1の寸法Lは、所望の長さの整数倍であることが望ましく、それによってかなりの数の分割光学素子がアレイ10から形成される。長さが20mmのウォークオフ結晶バーは市販されている。アレイから形成される各分割光学素子の所望の長さが1.0mmであれば、図1の結晶バーの長さは、10.0mm(すなわち、 $L = 10.0\text{mm}$)とすることができ、30個の結晶バーが存在する場合、アレイを9回切断することによって、全部で300個の分割光学素子が得られる。この生産量を実現するため、バーの横方向に9回の切断が行われる。この9回の切断が、図2の点線38及び40、42、44、46、48、50、52、54によって示されている。各バーの幅Wは、9回の切断後、長さとはほぼ同じになるようにすることができる。すなわち幅を1.0mmにすることが可能である。しかしながら光学材料のバーの幾何学寸法は、製作手順にとって重大な事項ではない。

【0018】

基板36は、薄い光学的に透明な材料から形成される。基板は、厚みが約100 μm のガラススライドとすることができ、光学部材12~34は、光学的に透明なエポキシによって基板に固定される。光サーキュレータ又はアイソレータ内の隣接する光学素子を接着によって固定するための既知のエポキシが、光学部材12~34をガラス基板に固定するのに使用することができる。ルチルは、屈折率が約2.4であり、当該技術において用いられる光学的に透明なエポキシは、屈折率が約1.52であるため、光学部材の下部表面には、界面における屈折率の不整合を軽減することによって性能を向上させるため、反射防止コーティングを施すことが望ましい。各光学部材の上部表面に反射防止コーティングを施すことも望ましい

10

20

30

40

50

。許容可能な反射防止コーティングは、多層の互い違いのパターンをなす二酸化珪素 (SiO_2) の層と二酸化チタン (TiO_2) の層である。

【 0 0 1 9 】

隣接光学部材の側面と接する光学部材12~34の側面は、光学的に研磨されていることが望ましい。この研磨によって、近接して隔置される光ファイバに対する分割光学素子の精密なアライメントを可能にする、平滑な表面が得られる。2つのファイバ間の中心間距離が約125 μm といった場合もあるので、分割光学素子の接触表面に引っかき傷があれば、光サークキュレータ又はアイソレータのような装置の性能に悪影響を及ぼすことがある。

【 0 0 2 0 】

図2における横方向の切断38~54に加えて、各光学部材12~34は、縦方向に等しく分割される。図3におけるアレイ10の端面図を参照すると、縦方向の切断56及び58、60、62、64、66が、それぞれ光学部材12及び14、16、18、20、22の分割として示されている。図2の点線によって、部分的な縦方向の切断56~66並びに68及び68、70、72、74、76、78が示されている。ダイシング手順は、当該技術において周知のように、ダイシングソーを用いて実施することができる。しかしながら劈開のような、光学部材を分割するための他の手段を用いることもできる。

【 0 0 2 1 】

横方向の切断38~54と縦方向の切断57~78の順序は、本発明にとって重大な事項ではない。しかしながら縦方向の切断を最初に行うほうが材料の取扱い上有利であろう。

【 0 0 2 2 】

切断38~54及び56~78のそれぞれは、ガラス基板36を貫いて行われる。図3において最もよく分かるように、各縦方向の切断56~66によって、光学部材12~22の1つが2つの等しいセグメント「a」及び「b」に分割される。しかしながらガラス基板36は、光学部材の1つの各セグメント「b」と、それに接する光学部材のセグメント「a」との界面においてもとのままである。例えば1つの分割光学部材が、12b及び14aの組み合わせから形成され、一方第2の分割光学部材が、14b及び16aの組み合わせによって形成される。これら2つの分割光学素子80及び82の平面図が、図4に示されている。30個の光学部材12~34があり、9回の横方向の切断38~54が行われると、この製造手順によって、光学素子80と同じ光学素子が150個生じ、光学素子82と同じ光学素子が150個生じることになる。この生産量は、第1の光学部材12の端部セグメント12aをアレイ内の最後の光学素子34の端部セグメントに接着することが必要になる。望ましい実施態様においては、他のセグメントを互いに接着して、分割光学素子を形成することはない。それどころかセグメントは、ガラス基板によって接続される。

【 0 0 2 3 】

図4における2つの分割光学素子80及び82のそれぞれには、異なる光学特性を示す2つの部分が存在する。図2の隣接光学部材がウォークオフ結晶である実施態様においては、製造される分割光学素子80及び82は、向かい合う方向の空間変位を有することになる。従って光学素子80が、セグメント12bと第1の光ファイバのアライメントがとれよう配置され、セグメント14aと第2の光ファイバのアライメントがとれるよう配置される場合、2つのファイバから出力されたビームの適正な配向を施される偏光成分は、同時ではあるが、個別に操作を加えられることになる。

【 0 0 2 4 】

図5及び6には、製造方法のもう1つの実施態様を示されている。光学部材86及び88、90、92、94、96、98、100、102、104、106、108のアレイ84は、一般に図1及び2の光学部材とほぼ同等であるが、幅Wが図1の約1/2である。幅の50%の短縮と、ガラス基板110上の光学部材の数を2倍とすることを組み合わせることによって、図1~4の手順に関連して説明したのと同じ数の光学素子が生じることになる。図1~4の製造の説明において示された例には、それぞれ1.0mmの幅Wを備えた、30個の光学部材56~78が含まれていた。図5のガラス基板110が、図2の基板36と全く同じ寸法であれば、基板110に、それぞれ0.5mmの幅を備えた60個の光学部材86~108が含まれている場合、同じ数 ($n = 300$) の

10

20

30

40

50

分割光学素子を形成することができる。

【 0 0 2 5 】

分割光学素子を形成するための所望の切断が、図 5 の点線112及び114によって示されている。一連の切断112は、互いに平行であり、隣接光学部材86～108間の界面に対して鋭角をなしている。一連の切断114もまた互いに平行である。光学部材86と光学部材88の間の界面116に関して、切断112のそれぞれは、この界面に対し + 45度の角度をなすとみなすことができ、一方切断114は、 - 45度の角度をなすとみなすことができる。図 6 を参照すると、この方法に従って製造された分割光学素子118及び120は、それぞれ適正にアライメントのとれた偏光成分に関して向かい合う方向の空間変位を生じる、第 1 の部分121及び122と第 2 の部分123及び124が含まれることになる。

10

【 0 0 2 6 】

図 2 ～ 4 の手順と図 5 及び 6 の手順との間の類似点は、2 つの手順のダイシングステップ後、製造される分割光学素子の第 1 と第 2 の部分が、光学部材が固定されているガラス基板のセグメントによって、互いに所定位置に保持されることにある。もう 1 つの類似点は、第 1 と第 2 の部分が、どちらも 2 つの部分の界面に対して平行であり、反対方向に向くウォークオフ方向を有していることである。しかしながら図 4 の分割光学素子80及び82と図 6 の分割光学素子118及び120の間の重要な相違点は、光学素子118及び120の側部が、ウォークオフ方向に対して平行ではないということである。図 6 の実施態様においては、ウォークオフ方向は、ソーエッジに対して ± 45度である。より詳細に後述するように、斜めの界面116及び126を備える分割光学素子118及び120を利用して、偏光の混合を実現することが可能である。

20

【 0 0 2 7 】

図 7 及び 8 を参照すると、分割光学素子118及び120を光学アセンブリ128に利用することによって、偏光の混合が生じる。このアセンブリは、図示のように、前方端に平行な第 1 と第 3 の光ファイバ130及び132を備え、後方端に第 2 の光ファイバ131を備えている。図 1 の実施態様においては、該アセンブリは、第 1 の光ファイバ130からの入力ビームが、種々の光学素子を通して伝搬し、第 2 の光ファイバ131を介して出力され、一方第 2 の光ファイバからの入力信号が第 3 の光ファイバ132を介して出力される、光サーキュレータである。しかしながら光ファイバ間における光学結合の他の全ての可能性は、光ファイバからのビームの偏光成分に対する種々の素子の働きによって阻止される。

30

【 0 0 2 8 】

図 7 及び 8 の実施態様において、アセンブリ128の前方端における最初の 2 つの光学素子118及び120が、偏光ミキサ134を形成している。光学素子118及び120は、図 6 の分割光学素子である。図 9 ～ 20 に関連してさらに詳細に後述するように、第 1 と第 3 の光ファイバ130及び132からの光ビームが偏光ミキサ134を通して順方向に伝搬することによって、それぞれ光ファイバ132のビームからの 1 つの偏光成分と、光ファイバ131からの 1 つの偏光成分を有する、2 つの光ビームが生じることになる。この偏光成分の「混合」は、アセンブリ128における第 3 と第 4 の光学素子136及び138によって形成される偏光コンバイナ (combinor) 135の準備をする。偏光コンバイナは、第 1 の光ファイバ130からの第 1 の光ビームの 2 つの偏光成分を再合流させ、第 3 の光ファイバ132からの第 3 の光ビームの 2 つの偏光成分を再合流が施された第 1 の光ビームの両側にシフトさせる。次に、この偏光成分の配置によって、さらに詳細に後述することになる 2 段光アイソレータアレイ139に関する所望の配向が設定される。アセンブリ128の光学素子が組み合わせられて、高性能で、コスト効率の高い光サーキュレータが形成される。

40

【 0 0 2 9 】

図 8 に最もよく示されているように、偏光ミキサ134を形成する光学素子118及び120は、斜めに分割されて、上方部分122及び123と下方部分121及び124をなす、分割光学部材である。第 1 の光学素子118の上方部分と下方部分の界面116は、第 2 の光学素子120の上方部分と下方部分の界面126に対して垂直である。この 4 つの部分のそれぞれは、ウォークオフ結晶から形成されており、2 つの光学素子のそれぞれの 2 つの部分は、向かい合うウォ

50

ークオフ方向を備える。ウォークオフ方向は、図 8 の 4 つの部分121～124において矢印によって表示されている。

【 0 0 3 0 】

偏光コンバイナ135の 2 つの光学素子136及び138も、ウォークオフ結晶から形成される。このウォークオフ方向は、互いに垂直であるが、アセンブリ128の同じ側面の表面に向けられている。当該技術において周知のように、ウォークオフ結晶を形成するための共通材料は、ルチル（二酸化チタン - TiO_2 ）及びバナジン酸イットリウム（ YVO_4 ）である。より大きい屈折率が得られることから、望ましい材料はルチルである。ウォークオフ離隔距離 1 mm毎に対して、ルチル結晶は約10.0mmの厚みを備えていなければならない。図 7 及び 8 の実施態様において、第 1 及び第 3 の光ファイバ130及び132のコア間ピッチが250 μm であれば、望ましいウォークオフ距離は、ピッチの $1/2$ の 2 倍とすることができる。従って光学素子118及び120、136、138のそれぞれの厚みは、 $2 \times 125 \mu\text{m} = 177 \mu\text{m}$ のウォークオフ距離が得られるように選択するのが望ましい。

10

【 0 0 3 1 】

ウォークオフ結晶138の背面に位置する光学素子140は、偏光回転を生じる二分の一波長板である。二分の一波長板の光軸は垂直に対して22.5度であるため、偏光状態の回転は45度になる。二分の一波長板は、当該技術において周知のところである。

【 0 0 3 2 】

前述のように、後続の光学素子によって、2 段アイソレータアレイ139が得られる。アレイ内の第 1 の光学素子142は、125 μm の空間変位を生じる厚みを有することが可能なウォークオフ素子であるが、このウォークオフ距離は、本発明にとって重要な事項ではない。ウォークオフ方向は、図 8 の矢印によって示されるように上方に向かう。

20

【 0 0 3 3 】

2 段光アイソレータアレイ139は、一対のウォークオフ結晶146及び148を間に挟んだ、2 つのファラデー回転子144及び150を含む。ファラデー回転子のそれぞれは、ビームの偏光成分を45度回転させる。順方向において、ファラデー回転子は、矢印で示されるように、反時計回り方向の回転を生じさせる。ウォークオフ結晶146及び148は、上述の望ましい実施態様の場合、177 μm の空間変位を生じる厚みを備えることができる。ウォークオフ方向は、互いに垂直であるが、主たる指向性成分は、図 7 及び 8 において明らかなように、アセンブリ128の遠位の側面に向かっている。2 段アイソレータアレイ139の最後の光学素子152は、ウォークオフ方向が下方に向かい、ウォークオフ距離が125 μm のウォークオフ結晶である。厚みは、前述のように所望のウォークオフ距離によって決まる。

30

【 0 0 3 4 】

2 段光アイソレータアレイ139には、第 1 の光ファイバ130からの出力ビームを、そのビームを出力することになる第 2 の光ファイバ131に収束させるために用いられる、結像レンズ154が後続する。光ファイバ130及び131、132の全てが、熱拡大コア（TEC）ファイバであれば、レンズ154は、1 対 1 の結像レンズである。しかしながら第 1 の光ファイバ130がTECファイバで、第 2 の光ファイバ131が従来の単一モードファイバである実施態様の場合、レンズは 4 対 1 の結像レンズとすることができる。このレンズは、光学アセンブリ128の通過時に発散する、第 1 の光ファイバ130からの第 1 のビームの偏光成分を再収束させる。レンズの焦点距離は、第 2 の光ファイバ131に対する第 1 のビームのイメージ形成に基づいて選択される。

40

【 0 0 3 5 】

図 9～20には、図 7 の第 1 と第 2 の光ファイバ130と131から順方向に伝搬する第 1 と第 2 の光ビームの偏光成分が示されている。12枚の図のそれぞれは、図 8 の12個のコンポーネントの各々の前面における偏光成分の位置を示している。図 9 においては、第 1 の光ファイバの光学軸が、2 つの分割光学素子118及び120によって画定される偏光ミキサ134の前面における、第 1 のポート156、すなわちウィンドウを限定する。第 1 のビームの直交偏光成分158及び160は、図 9 に太い黒線として例示されている。これに対し、第 3 の光ファイバからの第 3 のビームの偏光成分162及び164は、分割光学素子118の前面におけるウィ

50

ンドウ166を画定する。

【0036】

第1のビームの光軸は、第1の分割光学素子118の下方部分121とアライメントがとられ、一方第3のビームの光軸は、上方部分123とアライメントがとられる。上方部分及び下方部分のウォークオフ作用（ウォークオフ方向は図9に矢印で示される）の結果として、順方向に伝搬する4つの偏光成分158～164が、第2の分割光学素子120の前面に達すると、図10に示すように、第1の偏光成分158及び第3の偏光成分162は位置168及び170にシフトされる。第2の偏光成分160及び第4の偏光成分164は、偏光ミキサ134内において第2の光学素子120の上方部分122及び下方部分124のウォークオフ方向とアライメントがとれる。従って2つの部分122及び124のウォークオフ作用によって、第2と第4の偏光成分は2つのシフト位置168及び170にウォークオフする。この4つの偏光成分の配向は、上述の偏光コンバイナを形成する対をなすウォークオフ結晶の第1のブロックであるウォークオフ結晶136の前面において生じる。この配向は図11に示されている。

10

【0037】

図9及び11を比較すると、2つの光学素子118及び120によって形成される偏光ミキサが、第1のポート156からの1つの偏光成分158と第2のポート166からの1つの偏光成分164を組み合わせ、残り2つの偏光成分もまた組み合わせられる。「混合」偏光成分は、図11にシフト位置168及び170によって表示される順方向伝搬光路上に位置する。

【0038】

偏光コンバイナの前方光学素子136のウォークオフ作用は、図12に示すように、第1の偏光成分158をシフトして、ウィンドウ156の位置に戻し、第3の偏光成分162を位置172にシフトする。

20

【0039】

図13は、偏光コンバイナの第2の光学素子138が第2と第4の偏光成分160及び164をシフトさせた後の、4つの偏光成分158～164を示す。ウィンドウ156からの入力ビームを形成する第1と第2の偏光成分158及び160は、図9のもとの位置に戻されるが、ウィンドウ166に元のビームを形成された第3と第4の偏光成分162と164は、ウィンドウ156の両側に位置し、互いに元のウィンドウ156と166の間の離隔距離を超える距離だけ分離される、位置172と174にある。

【0040】

4つの偏光成分158～164は、二分の一波長板140の作用によって所定位置に回転される。二分の一波長板の利用は、当該技術において周知のところである。図14は、元のウィンドウ156及びシフト位置172及び174における4つの偏光成分の回転アライメント方向が示されている。次に第4の偏光成分が、図8の2段光アイソレータアレイ139に導入される。

30

【0041】

2段光アイソレータアレイ139の第1の光学素子142は、ウォークオフ方向が上方を向くウォークオフ結晶である。この結果、垂直方向の配向が施された第2と第4の偏光成分160及び164が上方にシフトして、図15の位置176及び178につくことになる。前述のように、ウォークオフ結晶142の厚みは、既に遭遇したウォークオフ結晶の厚みよりも薄い。例えば結晶136及び138の厚みは、それぞれ $10 \times 2a$ とし、一方結晶142の厚みは、約 $10a$ とすることが可能性であるが、ここで「 a 」は2つのウィンドウ156と166の間のピッチの $1/2$ である。実施態様の1つでは、 a の値は $125 \mu\text{m}$ であるため、ウォークオフ結晶136及び138は、それぞれ約 $1770 \mu\text{m}$ になり、ウォークオフ結晶142の厚みは、約 $1250 \mu\text{m}$ になる。しかしながら a の値は、本発明にとって重要な事項ではない。

40

【0042】

図15のファラデー回転子144によって、4つの偏光成分158～164は45度回転されて、図16に示す偏光の配向が得られる。ウォークオフ結晶146は、第1と第3の偏光成分158及び162の位置を、それぞれ位置180及び182にシフトする。これによって、ウィンドウ156に入射したビームの2つの偏光成分158及び160が、一時的に図17に示すように並んで配置される。しかしながら対となる第2のウォークオフ結晶148は、第2と第4の偏光成分を、さら

50

に図18に示す位置184及び186にシフトする。

【 0 0 4 3 】

第2のファラデー回転子150は、全ての4つの偏光成分158～164の偏光配向を回転させるので、偏光成分は、ウォークオフ結晶152の前面に達すると、図19に示すような配向になる。結晶152のウォークオフ方向は下方に向いている。従って第1と第3の偏光成分158及び162は、結晶152の厚みによって決まる距離だけ変位する。厚みが約1250 μm のルチル結晶の場合、下方シフトは約 $a = 125 \mu\text{m}$ に等しい。第3の偏光成分162は位置188にシフトする。第1の偏光成分は位置184にシフトするが、これは図7に関連して既述の第2の光ファイバ131の光軸に対応する。従って第1の光ファイバ130によって画定されたウィンドウ156（図9参照）に入力された偏光成分158及び160は、第2の光ファイバ131のための出力信号になる。結像レンズ154は、イメージを第2の光ファイバに収束させる。一方第3の光ファイバからウィンドウ166（図9参照）に入力された2つの偏光成分162及び164は、図20の位置186及び188によって示されるように、互いに分離され、かつ第2のファイバを通る出力から分離される。

10

【 0 0 4 4 】

図21～32には、第2の光ファイバ131から第3の光ファイバ132への逆方向の伝搬が示されている。前述のように、図21の位置184は、第2の光ファイバに対する信号入力及び第2の光ファイバからの信号出力のためのポートに対応する。図21において、偏光成分190及び192は、第2の光ファイバからの入力ビームの成分として示されている。図9～20における順方向に伝搬するビームの偏光成分と区別するため、第2の光ファイバからの入力ビームの偏光成分は、第5及び第6の偏光成分190及び192と呼ぶことにする。

20

【 0 0 4 5 】

結像レンズ154は、第5と第6の偏光成分を、図22に示すように、配向又は位置に影響を及ぼすことなく、ウォークオフ結晶152の背面まで通過させる。しかしながらウォークオフ結晶152は、第5の偏光成分を上方へシフトし、図23のファラデー回転子150の背面に示す位置180に位置させる。ファラデー回転子によって、偏光成分が45度回転し、ウォークオフ結晶148の背面において図24に示すアライメントがとれる。

【 0 0 4 6 】

ウォークオフ結晶148は、第6の偏光成分192を図25の位置178に変位する。次に逆方向に伝搬するビーム成分が図26のファラデー回転子144の背面に達すると、対となるもう1つのウォークオフ結晶146は、第5の偏光成分190を位置172にシフトする。ファラデー回転子は、ウォークオフ結晶142の背面において図27に示す配向にまで、2つの偏光成分190及び192の反時計廻り方向の回転を開始する。

30

【 0 0 4 7 】

図28において、第6の偏光成分192は、ウォークオフ結晶142の作用によって下方に変位している。二分の一波長板140は、2つの偏光成分190及び192を回転し、図29に示す配向させる。図29は、図8の二分の一波長板140と偏光コンバイナ135との間の界面を示す。偏光コンバイナと二分の一波長板との間のこの界面は、図13においても、順方向に伝搬する偏光成分に関して示されている。図29と図13を比較すると明らかなように、第3の光ファイバ132からのビームの第3と第4の偏光成分は、第2の光ファイバ131からの逆方向に伝搬するビームの第5と第6の偏光成分190及び192と位置及び配向が同じである。すぐに後述するように、最後の4つの光学素子138及び136、120、118は、図9～15に関連して説明した作用と逆の作用をする。従って逆方向に伝搬する偏光成分190及び192は、第3の光ファイバ132に達し、出力される。

40

【 0 0 4 8 】

偏光コンバイナ対135における第1のウォークオフ結晶136は、対となる第2のウォークオフ結晶138の背面に達すると、図30に示すように、第6の偏光成分192を位置170にシフトする。結晶136は、偏光成分が図8に関連して解説した偏光ミキサ対134の背面に達すると、第5の偏光成分190を図31の位置168にシフトする。

【 0 0 4 9 】

50

後方分割光学素子120の上方部分122は、第5の偏光成分190に影響を及ぼすことはないが、下方部分124は、図32に示すように、第6の偏光成分192を第3の光ファイバのウィンドウ166に変位させる。図面には示されていないが、次に分割光学素子118の上方部分123は、第3の光ファイバに沿って2つのビーム成分が出力されるウィンドウ166とのアライメントがとれる位置に、第5の偏光成分190をシフトする。

【0050】

図7～32を参照すると、アセンブリ128は、第1の光ファイバ130を第2の光ファイバ131に光学的に結合して、また第2の光ファイバ131を第3の光ファイバ132に光学的に結合するが、光ファイバをスプリアス伝送から分離する。

【0051】

以下においては、本発明の種々の構成要件の組み合わせからなる例示的な実施態様を示す。

【0052】

1. 光学素子(80及び82; 118及び120)の製造方法であって:

並べて配置された3つ以上の光学部材(12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32及び34; 86、88、90、92、94、96、98、100、102、104、106及び108)のアライメントをとって、各光学部材の少なくとも1つの表面が前記配置における隣接光学部材の表面と接するようにし、かつ前記隣接光学部材が、前記接する表面と平行な方向に伝搬する光の偏光成分(158、160、162及び164)の操作に関して異なる光学特性を備えるようにするステップと;

前記光学部材を分割して(56、58、60、62、64、66、68、70、72、74、76及び78; 及び112及び114)、複数の個別光学素子を形成して、各光学素子が2つの隣接光学部材のそれぞれからのセグメント(12a、12b、14a、14b、16a、16b、18a、18b、20a、20b、22a; 及び121、122、121及び124)を含むようにし、これによって第1の光学特性を備える第1の部分と、偏光成分の操作に関して、前記第1の光学特性とは異なる第2の光学特性を備える第2の部分を含む、前記各光学素子が形成されるステップと;

が含まれていることを特徴とする方法。

【0053】

2. 前記光学部材のアライメントをとる前記ステップが、透明基板(36; 及び110)に対して複数のウォークオフ結晶(12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32及び34; 86、88、90、92、94、96、98、100、102、104、106及び108)を固定して、前記光学部材が、縦方向に沿って接して、奇数番目の結晶のウォークオフ方向が偶数番目の結晶のウォークオフ方向と向かい合うパターンが形成されるようにするステップである、1項記載の方法。

【0054】

3. 前記光学部材(12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32及び34)を分割する前記ステップ(56、58、60、62、64、66、68、70、72、74、76及び78)が、前記ウォークオフ結晶のそれぞれを前記縦方向に対して平行なダイシングを施すことを含み、それによって前記奇数番目の結晶の1つのセグメント(12b及び14b)及び前記偶数番目の結晶の1つのセグメント(14a及び16a)を支持する前記透明基板の領域を含むように、各光学素子(80及び82)が形成される、2項記載の方法。

【0055】

4. さらに前記光学部材を分割する前記ステップが、前記ウォークオフ結晶(12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32及び34)のそれぞれ及び前記透明基板(36)を、前記縦方向に対して垂直なダイシングを施すことによって、前記配置において各対をなす奇数番号及び偶数番号の結晶から複数の前記光学素子(80及び82)が形成される、3項記載の方法。

【0056】

5. 光学部材(86、88、90、92、94、96、98、100、102、104、106及び108)の前記配置が、互い違いのウォークオフ方向を備える接触ウォークオフ結晶のパターンをなし、前

10

20

30

40

50

記光学部材の前記分割ステップが、前記光学部材の配置を垂直な第1の一連の切断及び第2の一連の切断によりダイシングを施すことを含み、該第1の一連の切断が該第2の一連の切断と前記隣接光学部材の前記接触表面の界面(116及び126)においてのみ、これによって前記ウォークオフ方向に対して鋭角をなし、かつ前記界面に対して平行である側部を備える前記光学素子(118及び120)が形成される、1項記載の方法。

【0057】

6. 前記光学部材(12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32及び34; 86、88、90、92、94、96、98、100、102、104、106及び108)のアライメントをとる前記ステップが、透明基板(36; 及び110)に対して前記光学部材を固定して、前記光学部材が隣接光学部材に接するようにする、1項記載の方法。

10

【0058】

7. 前記基板が、ガラス基板(36)であり、前記光学部材(12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32及び34)がバーであり、前記光学部材の前記分割ステップが、前記バーに対して縦方向と横方向の両方向にダイシングを施して、複数の個別光学素子(80及び82)を形成することを含む、6項記載の方法。

【0059】

8. 前記光学部材のアライメントをとる前記ステップが、光学的に透明なエポキシを利用して、前記光学部材を前記基板(36; 及び110)に固定することを含み、前記光学部材がウォークオフ結晶であることを特徴とする、6項又は7項記載の方法。

【0060】

20

9. 光学素子(80及び82; 118及び120)が:
透明基板(36; 110)と;

前記透明基板に取り付けられる第1の光学部材(12b及び14b; 121及び124)と、該第1の光学部材が、前記透明基板と該第1の光学部材を通る第1の光路に沿って伝搬する光の偏光成分の操作に関して、第1の光学特性を有することと; 前記第1の光学部材と並べて配置して前記透明基板に取り付けられる第2の光学部材(14a及び16a; 120及び123)と、該第2の光学部材が、前記透明基板と該第2の光学部材を通る第2の光路に沿って伝搬する光の偏光成分の操作に関して、第2の光学特性を有することと、該第2の光学特性が前記第1の光学特性とは異なることと;

を含むことを特徴とする光学素子。

30

【0061】

10. 前記第1の光学部材(12b及び14b; 121及び124)と前記第2の光学部材(14a及び16a; 120及び123)の表面が、接着剤のない界面に沿って接する、9項記載の光学素子。

【0062】

【発明の効果】

分割光学素子(80及び82; 118及び120)を製造する方法には、光の偏光成分(158及び160、162、164)の操作に関して異なる光学的特性を備える光学部材と接するように、並べて配置される多数の光学部材(12及び14、16、18、20、22、24、26、28、30、32、34; 86及び88、90、92、94、96、98、100、102、104、106、108)を固定することを含む。好適な実施例においては、光学部材は、光学的に透明なエポキシにより透明な基板(36; 及び110)に固定され、光学部材は、向かい合う向きウォークオフ方向を備えるウォークオフ結晶である。光学部材の配置は、分離されて、透明基板の部分に支持される第1及び第2の部分(12b及び14a、14b、16a)を含む個別の光学素子を形成する。第1及び第2の部分は、偏光成分を操作することに関して異なる光学的特性を示す。一実施例において、光学部材の配置は、第1の一連の切断(56及び58、60、62、64、66、68、70、72、74、76、78)において光学部材を縦方向にダイシングによって分離し、第2の一連の切断(38及び40、42、44、46、48、50、52、54)において光学部材を横方向にダイシングによって分離される。第2の実施例においては、第1及び第2の一連の切断(112及び114)はどちらも、隣接する光学部材間の界面(116及び126)に鋭角をなし、光学素子の第1及び第2の

40

50

部分の向かい合う向きのウォークオフ方向が、第 1 及び第 2 の部分間の界面において平行であるが、光学素子の側面に対して鋭角である、光学素子を製造する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による分割光学素子の 1 つの部分の製造するための光学部材の透視図である。

【図 2】ウォークオフ方向が互い違いのパターンをなし、本発明の実施態様の 1 つによる光学部材の分割が点線で表示される、光学部材のアレイの透視図である。

【図 3】点線で光学部材の縦方向のダイシングを表した、図 2 のアレイの一部に関する端面図である。

【図 4】図 2 及び 3 に表示の点線に沿った光学部材のダイシングによって形成される 2 つの分割光学素子の平面図である。

10

【図 5】点線で本発明の第 2 の実施態様による所望の切断を示す、光学部材のアレイの透視図である。

【図 6】図 5 の点線に沿った光学部材のダイシングによって形成される 2 つの分割光学素子の平面図である。

【図 7】図 5 及び 6 の実施態様に従って製造される分割光学素子を利用する光学アセンブリの実施態様の 1 つに関する透視図である。

【図 8】図 7 の光学アセンブリの透視分解図である。

【図 9】図 7 及び 8 のアセンブリを介して順方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

20

【図 10】図 7 及び 8 のアセンブリを介して順方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 11】図 7 及び 8 のアセンブリを介して順方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 12】図 7 及び 8 のアセンブリを介して順方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 13】図 7 及び 8 のアセンブリを介して順方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 14】図 7 及び 8 のアセンブリを介して順方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

30

【図 15】図 7 及び 8 のアセンブリを介して順方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 16】図 7 及び 8 のアセンブリを介して順方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 17】図 7 及び 8 のアセンブリを介して順方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 18】図 7 及び 8 のアセンブリを介して順方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 19】図 7 及び 8 のアセンブリを介して順方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

40

【図 20】図 7 及び 8 のアセンブリを介して順方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 21】図 7 及び 8 のアセンブリを介して逆方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 22】図 7 及び 8 のアセンブリを介して逆方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 23】図 7 及び 8 のアセンブリを介して逆方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 24】図 7 及び 8 のアセンブリを介して逆方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

50

【図 2 5】図 7 及び 8 のアセンブリを介して逆方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 2 6】図 7 及び 8 のアセンブリを介して逆方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 2 7】図 7 及び 8 のアセンブリを介して逆方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 2 8】図 7 及び 8 のアセンブリを介して逆方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 2 9】図 7 及び 8 のアセンブリを介して逆方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 3 0】図 7 及び 8 のアセンブリを介して逆方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 3 1】図 7 及び 8 のアセンブリを介して逆方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【図 3 2】図 7 及び 8 のアセンブリを介して逆方向伝搬中に、偏光成分に施される作用を示す図である。

【符号の説明】

10

12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32、34

36

38、40、42、44、46、48、50、52、54

56、58、60、62、64、66、68、70、72、74、76、78

アレイ

光学部材

基板

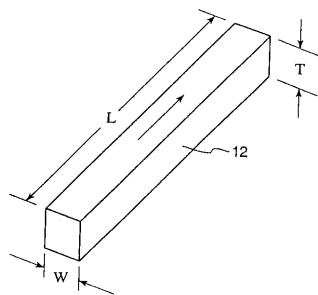
横方向切断面

縦方向切断面

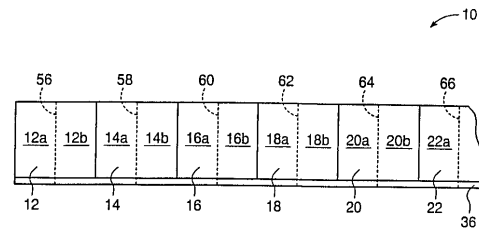
10

20

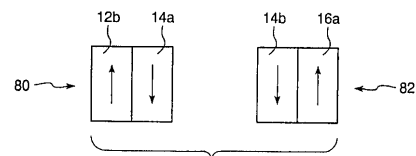
【図 1】



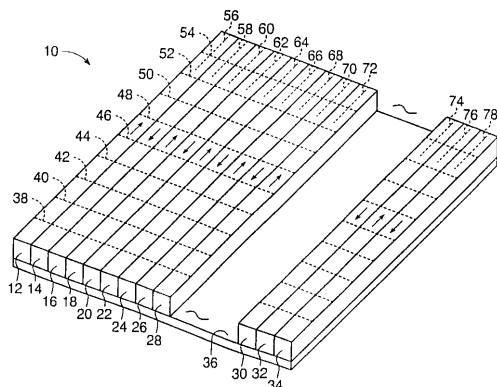
【図 3】



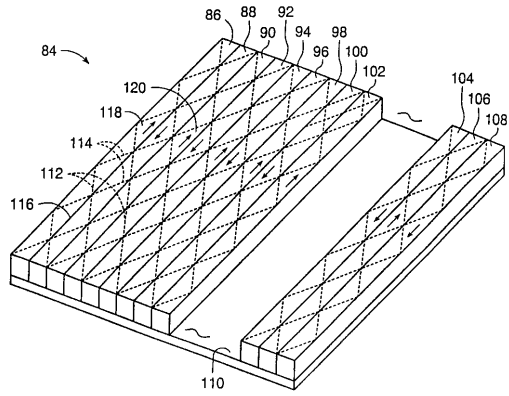
【図 4】



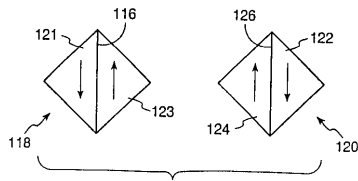
【図 2】



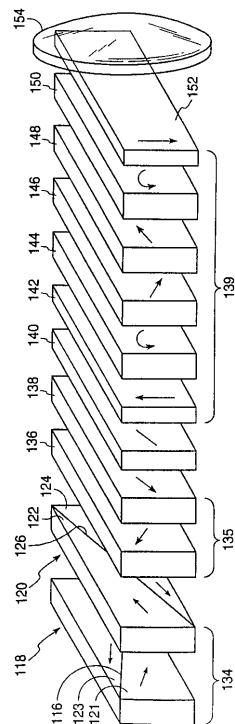
【図 5】



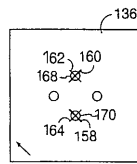
【図 6】



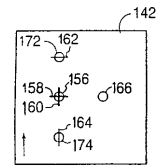
【図 8】



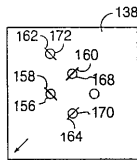
【図 1 1】



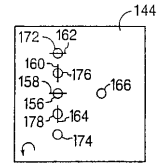
【図 1 4】



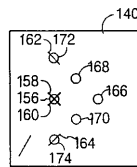
【図 1 2】



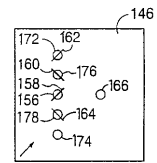
【図 1 5】



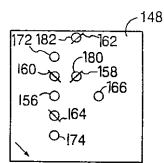
【図 1 3】



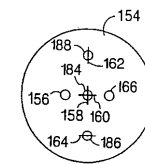
【図 1 6】



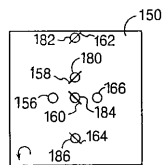
【図 1 7】



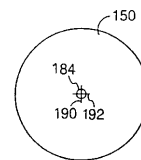
【図 2 0】



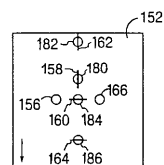
【図 1 8】



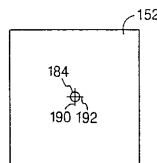
【図 2 1】



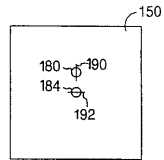
【図 1 9】



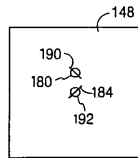
【図 2 2】



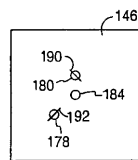
【図 2 3】



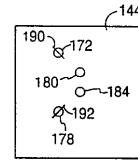
【図 2 4】



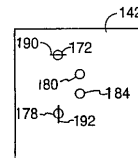
【図 2 5】



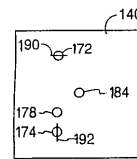
【図 2 6】



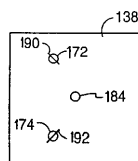
【図 2 7】



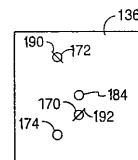
【図 2 8】



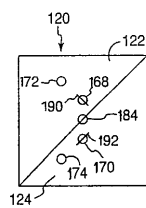
【図 2 9】



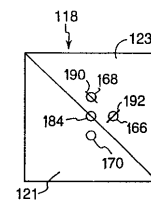
【図 3 0】



【図 3 1】



【図 3 2】



フロントページの続き

(72)発明者 コク・ウェイ・チャン

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 0 8 7 , サニーヴェイル , シラス・アヴェニュー・ 1 7 4

審査官 山村 浩

(56)参考文献 特開平 0 5 - 2 8 9 0 2 7 (J P , A)

特開平 0 8 - 2 4 8 3 5 6 (J P , A)

特開昭 6 3 - 0 4 3 1 2 0 (J P , A)

特開平 0 6 - 2 6 5 8 2 0 (J P , A)

特開平 0 4 - 0 7 7 7 1 3 (J P , A)

特開昭 6 0 - 0 6 3 5 0 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G02B 27/28