

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6338756号
(P6338756)

(45) 発行日 平成30年6月6日(2018.6.6)

(24) 登録日 平成30年5月18日(2018.5.18)

(51) Int.Cl.	F 1
G02B 6/26 (2006.01)	G02B 6/26
G02B 6/32 (2006.01)	G02B 6/32
G02B 6/35 (2006.01)	G02B 6/35
G02B 26/08 (2006.01)	G02B 26/08 E

請求項の数 12 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2017-176997 (P2017-176997)
(22) 出願日	平成29年9月14日 (2017.9.14)
(65) 公開番号	特開2018-45240 (P2018-45240A)
(43) 公開日	平成30年3月22日 (2018.3.22)
審査請求日	平成30年3月5日 (2018.3.5)
(31) 優先権主張番号	15/266,655
(32) 優先日	平成28年9月15日 (2016.9.15)
(33) 優先権主張国	米国(US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者	502208397 グーグル エルエルシー アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94043 マウンテン・ビュー アンフィシアター パークウェイ 1600
(74) 代理人	110001195 特許業務法人深見特許事務所
(72) 発明者	ジル・ディ・バーガー ¹ アメリカ合衆国、94043 カリフォルニア州、マウンテン・ビュー、アンフィシアター・パークウェイ、1600
(72) 発明者	デイビッド・ファンク ² アメリカ合衆国、94043 カリフォルニア州、マウンテン・ビュー、アンフィシアター・パークウェイ、1600

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光回路スイッチコリメータ装置および光学レンズアレイ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光回路スイッチコリメータ装置であって、前記装置は、ホールアレイに配置された複数の光ファイバーを含むファイバーアレイと、前記ファイバーアレイに整列され、結合された光学レンズアレイと、前記ファイバーアレイと前記光学レンズアレイとの間に配置され、前記光学レンズアレイにおけるレンズと前記ファイバーアレイにおける対応するファイバーとの間に実質的に均一の間隔を提供するように構成されたスペーサと、

前記光学レンズアレイに面する前記スペーサの表面の縁に沿って位置付けられ、前記スペーサと前記光学レンズアレイとの間に第1の分離間隙を規定する複数のパッドと、

前記スペーサを前記光学レンズアレイに結合する第1のエポキシと、

前記スペーサを前記ファイバーアレイに結合する第2のエポキシとを含む、光回路スイッチコリメータ装置。

【請求項 2】

前記光学レンズアレイは、表面形状誤差が200ナノメートル(nm)未満であることを特徴とする実質的に同一の複数のガラスレンズを含む、請求項1に記載の装置。

【請求項 3】

前記実質的に同一の複数のガラスレンズは、前記光学レンズアレイにおいてピッチ誤差が1マイクロメートル(μm)未満で均一に配置される、請求項2に記載の装置。

【請求項 4】

10

20

前記実質的に同一の複数のガラスレンズは、球形レンズを含む、請求項 2 に記載の装置。

【請求項 5】

前記光学レンズアレイにおけるレンズのそれぞれの曲率半径は、前記光学レンズアレイにおける他のレンズの曲率半径と 1 % 以下しか違わない、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】

前記第 1 のエポキシは、前記スペーサおよび前記光学レンズアレイのガラス材料のそれぞれの屈折率の値のほぼ中間にある第 1 の屈折率値を有する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 7】

前記第 2 のエポキシは、前記スペーサの屈折率の値と前記ファイバーアレイの前記複数の光ファイバーの光学コアの屈折率の値とのほぼ中間にある第 2 の屈折率値を有する、請求項 1 に記載の装置。 10

【請求項 8】

前記光学レンズアレイの第 1 の表面は、前記光学レンズアレイの前記第 1 の表面と前記スペーサとのレンズ / スペーサ界面での反射を防止するように構成された第 1 の反射防止 (A R) コーティングでコーティングされ、前記第 1 の表面は前記スペーサに面しており、前記第 1 のエポキシは、前記スペーサのそれぞれの屈折率の値と等しい第 1 の屈折率値を有しており、前記光学レンズアレイの第 2 の表面は、レンズ / 空気界面での反射を防止するように構成された第 2 の A R コーティングでコーティングされる、請求項 1 に記載の装置。 20

【請求項 9】

前記光学レンズアレイ、前記スペーサ、前記第 1 のエポキシ、前記第 2 のエポキシ、および前記光ファイバーの屈折率は、約 1 5 5 0 nm の光学波長で、それぞれおよそ 1 . 7 8 、 1 . 4 5 6 、 1 . 4 6 2 、 1 . 4 6 2 、および 1 . 4 6 8 である、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 10】

前記第 1 の分離間隙は、約 5 μm である、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 11】

前記スペーサはさらに、前記光学レンズアレイと前記ファイバーアレイとの間の平行化距離を維持し、前記装置のビームのビームウエストサイズおよびビームウエスト位置の制御を可能にするように構成される、請求項 1 に記載の装置。 30

【請求項 12】

前記ホールアレイは、シリコン、ガラス、または金属のうちの少なくとも 1 つを含む材料を含む、請求項 1 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本明細書は一般に光ネットワークに関し、より特定的には光回路スイッチコリメータに関するものの、それに限らない。

【背景技術】

【0 0 0 2】

光回路スイッチ (optical circuit switch : O C S) は、光回路スイッチングネットワークの中核である。 O C S は複数の光コリメータ (たとえば受動コリメータ) を含み、それらは、 O C S に結合された光ファイバーの中に、および光ファイバーから外に光信号を方向付ける。ファイバーコリメータの例示的な性能特性は、挿入損失、ビームウエスト径の不变性、 O C S 光路の中央に対するビームウエストの位置、およびランダムビーム指向誤差の程度を含む。エッチングされたシリコンまたはポリマーレンズアレイを使用している既存の O C S コリメータは、所望の性能特性を満たさない場合がある。 40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】米国特許第5077622号明細書
 【特許文献2】米国特許第6483071号明細書
 【特許文献3】米国特許第6597510号明細書
 【特許文献4】米国特許第7176407号明細書
 【特許文献5】米国特許第8162656号明細書
 【特許文献6】米国特許出願公開第2001/0024548号明細書
 【特許文献7】中国特許第101408647号明細書
 【特許文献8】特開平07-318860号公報
 【特許文献9】特開平08-152581号公報

10

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0004】

本技術のさまざまな局面によれば、光回路スイッチ用のコリメータ装置およびコリメタレンズアレイが提供される。本技術の一局面によれば、コリメータは、ホールアレイ(hole array)に配置された複数の光ファイバーを含むファイバーアレイを含む。光学レンズアレイがファイバーアレイに整列され、結合される。スペーサがファイバーアレイと光学レンズアレイとの間に配置され、光学レンズアレイにおけるレンズとファイバーアレイにおける対応するファイバーとの間に実質的に均一の間隔を提供する。複数のパッドが、光学レンズアレイに面するスペーサの表面の縁に沿って位置付けられ、それにより、スペーサと光学レンズアレイとの間に第1の分離間隙を規定する。第1のエポキシがスペーサを光学レンズアレイに結合し、第2のエポキシがスペーサをファイバーアレイに結合する。

20

【0005】

本技術の別の局面によれば、光学レンズアレイは、2次元アレイにおいて配置された複数のレンズを規定する第1の表面を有するガラス基板を含む。レンズは実質的に同一であり、それぞれの曲率半径は各々、光学レンズアレイにおける他のレンズの曲率半径と1%以下しか違わない。レンズは、2次元アレイにおいてピッチ誤差が1マイクロメートル(μm)未満で均一に配置される。

30

【0006】

本技術の他の構成は、本技術のさまざまな構成が例として図示され説明される以下の詳細な説明から当業者には容易に明らかとなるであろう、ということが理解される。認識されるように、本技術は他のおよび異なる構成が可能であり、そのいくつかの詳細は、さまざまな他の点で、本技術の範囲からまったく逸脱することなく変更が可能である。したがって、図面および詳細な説明は、本質的に例示的であり、限定的ではないと見なされるべきである。

【0007】

一層の理解を提供するために含まれ、本明細書に援用されてその一部を構成する添付図面は、開示された局面を例示し、明細書とともに、開示された局面の原理を説明するよう機能する。

40

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本技術の1つ以上の局面に従った光回路スイッチ(OCS)の一例を示す図である。

【図2A】本技術の1つ以上の局面に従ったOCSコリメータアセンブリの一例を示す図である。

【図2B】本技術の1つ以上の局面に従ったOCSコリメータアセンブリの分解図を示す図である。

【図3A】本技術の1つ以上の局面に従ったファイバーコリメータの一例を示す図である。

50

【図3B】本技術の1つ以上の局面に従った、ファイバーコリメータに含まれるコリメータアレイの正面図を示す図である。

【図3C】本技術の1つ以上の局面に従った成型ガラス光学レンズアレイを示す図である。

【図3D】本技術の1つ以上の局面に従った、成型ガラスレンズおよびスペーサを通る光平行化を示す図である。

【図4】本技術の1つ以上の局面に従った、図3Cの成型ガラス光学レンズアレイを製造する例示的な方法を示すフロー図である。

【図5】本技術の1つ以上の局面に従った、図2のOCSコリメータ装置を製造する例示的な方法を示すフロー図である。

【図6】本技術の1つ以上の局面に従った、図2のコリメータの反射減衰量の例示的なチャートを示す図である。

【図7】本技術の1つ以上の局面に従った、反射防止(anti-reflection: AR)コーティングがある場合、およびない場合の、図2のコリメータの反射減衰量の例示的なチャートを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

詳細な説明

ここに開示されるのは、光回路スイッチ用のコリメータ装置およびコリメタレンズアレイである。本技術の1つ以上の局面では、コリメータ装置は、ホールアレイに配置された複数の光ファイバーで形成されたファイバーアレイを含む。光学レンズアレイがファイバーアレイに整列され、光学的に結合される。スペーサがファイバーアレイと光学レンズアレイとの間に配置される。スペーサは、光ファイバーとの屈折率整合、および、光学レンズアレイとファイバーアレイとの間の均一な平行化距離(collimation distance)を提供し、コリメータ装置のビームのビームウエストサイズおよび位置の制御を可能にする。

【0010】

いくつかの実現化例では、光学レンズアレイは、表面形状誤差が200ナノメートル(nm)未満であることを特徴とする、好適な形状に成型された実質的に同一の複数のガラスレンズを含む。ガラスレンズは、光学レンズアレイにおいてピッチ誤差が1マイクロメートル(μm)未満で均一に配置される。ガラスレンズの曲率半径は実質的に同一である。すなわち、レンズアレイ全体にわたって、ガラスレンズの曲率半径は1%以下しか違わない。第1のエポキシ層は、スペーサと光学レンズアレイとの屈折率整合を提供し、第2のエポキシ層は、スペーサと光ファイバーとの屈折率整合を提供し得る。第1および第2のエポキシ接合剤は、ここにより詳細に説明されるように、スペーサの第1および第2の表面全体にわたって均一に施される。

【0011】

図1は、本技術の1つ以上の局面に従った光回路スイッチ(OCS)100の一例を示す図である。OCS100は全光スイッチングマトリクスであり、入力受動コリメータ110(たとえば、110-1、110-2...110-N)と、ミラーアレイ120と、出力受動コリメータ130(たとえば、130-1、130-2...130-N)とを含む。入力受動コリメータ110は、(たとえば約128~1000という範囲にある)N本の光ファイバーに結合された複数の受動コリメータを含む。入力光108が、光ファイバーを通って入力受動コリメータ110に入射する。各光ファイバーを通って伝送された光は、1つ以上の光波長(λ_i)を含む。出力受動コリメータ130からの出力光132が1組の出力光ファイバーに提供され、それらは各々、1つ以上の光学波長(λ_i)の光を搬送する。コリメータは別々の個々のコリメータであってもよく、または、たとえば図2Aに示すようなコリメータアレイになるよう組合されてもよい。入力受動コリメータ110と出力受動コリメータ130とは構造上同様であり、以下により詳細に説明される。ミラーアレイ120は、入力受動コリメータ110に結合された個々の光ファイバからの光ビームを、出力受動コリメータ130に結合された選択された光ファイバーに選択的に方向

10

20

30

40

50

付けることができる、微小電気機械システム (micro-electro-mechanical system : MEMS) ベースのマイクロミラーアレイである。MEMSベースのマイクロミラーアレイ (以下「MEMSアレイ」) 120は、基板124上に形成された複数のマイクロミラー122を各々有する2組のマイクロミラーアレイを含む。各マイクロミラー122の状態は、MEMSアレイ120における各ミラーに関連付けられた2つの電極間に電圧を印加することによって制御され得る。たとえば、MEMSアレイ120におけるミラーを回転させることにより、入力受動コリメータ110に結合された任意の入ファイバーからの光が、出力受動コリメータ130に結合された任意の出力ファイバーに結合され得る。点線の経路112は、潜在的なビーム指向誤差の結果であり、それは、MEMSアレイ120の個々のミラーの位置を制御する制御システムによって補正され得る。

10

【0012】

図2A～図2Bは、本技術の1つ以上の局面に従った、OCSコリメータアセンブリ200Aの一例、およびその分解図200Bを示す図である。図2Aに示すOCSコリメータアセンブリ200A (以下「コリメータ200A」) は、コリメータアレイ250と、取付フランジ240と、光ファイバー232とを含む。フランジ240は、ステンレス鋼、インバー、または任意の他の好適な材料で作成可能であり、コリメータアレイ250をOCSアセンブリ200Aに固定する。コリメータアレイ250のさらなる詳細が分解図200Bに示され、分解図200Bに関して説明される。コリメータアレイ250は、分解図200Bに示すように、光学レンズアレイ210と、スペーサ220と、ファイバーアレイ230と、ホールアレイ242と、第1のエポキシ212と、第2のエポキシ222とを含む。図1に示す出力コリメータ130といった、OCSの出力コリメータに使用される場合、平行化された入力光ビームが自由空間から光学レンズアレイ210に入射し、集束された出力光がファイバーアレイ230の光ファイバー232に結合される。図1に示す入力コリメータ110といった、OCSの入力コリメータに使用される場合、入力光は光ファイバーアレイ230の光ファイバー232から入射し、図1に示すMEMSアレイ120への平行化された出力光ビームとして光学レンズアレイ210から出射する。光学レンズアレイ210は、好適な形状の複数の (たとえば150～200個の) マイクロレンズ (「小型レンズ」とも呼ばれる) を含み、約 $15 \times 15 \text{ mm}^2$ ～ $25 \times 25 \text{ mm}^2$ あり得る、2次元 (2D) マイクロレンズアレイである。いくつかの実施形態では、光学レンズアレイ210は、ガラス、たとえば、1550nmでの屈折率が1.78である高屈折率ガラスを使用して、(たとえば成型を介して) 作製される。1つ以上の実施形態では、小型レンズは、約3.38mmという有効焦点距離と、光学レンズアレイの全小型レンズにわたって1%以下しか違わない約2.63mmという同一の曲率半径とを有する球形である。いくつかの実施形態では、曲率半径および有効焦点距離の他の値が使用されてもよい。高屈折率ガラスは、球形レンズが、球面収差による著しい挿入損失代償なく使用されることを可能にする。レンズ表面形状誤差は200nm未満であり得る。この精密作製は、向上したファイバー結合効率および低挿入損失 (たとえば、<0.5dB) をもたらし得る。

20

【0013】

1つ以上の実施形態では、光学レンズアレイ210は、所望のレンズ曲率半径と同様の曲率半径を有する形作られた (たとえば球形の) チップを使用して好適な材料でマイクロ機械加工されたレンズアレイ金型を使用して作製される。いくつかの実現化例では、<200nm以内で小型レンズの完全な (またはほぼ完全な) 球形を達成するために、金型は、1ミクロン刻みで再度機械加工され、次に、各機械加工の試みの後に再度測定される。金型の完全な (またはほぼ完全な) 形がいったん達成されると、金型は、多くの (たとえば数千もの) レンズアレイを作るために使用され得る。ガラスは好適な温度で成型され、後処理される。後処理は、反射防止コーティングをレンズに追加することと、縁を最終的な所望の寸法にダイシングすることとを含む。

30

【0014】

スペーサ220は、光学レンズアレイ210の寸法に整合する表面寸法 (たとえば、~

40

50

20 × 20 mm)と好適な厚さ(たとえば、4 mm)とを有するガラス(たとえば、ショット(Schott)B33ガラス)で作られた、パターン化されたスペーサであり得る。スペーサに使用されるガラスは、その屈折率がファイバーアレイ230の光ファイバー(たとえば、SMF28タイプ)のドープされたコアに良好に整合される(たとえば、1%未満以内)ように選択される。スペーサ220は、好適な材料(たとえば、二酸化ケイ素(SiO₂) /クロム(Cr))で作られた複数のパッド224を含む。パッド224は、光学レンズアレイ210とスペーサ220との間に、均一で制御された分離間隙を設定する。パッド224は、スペーサ220の第1の表面の縁(たとえば隅)にリソグラフィでパターン化される。いくつかの実施形態では、パッド224の寸法は、約5 × 1 mm × 高さ5 μmである。材料は、均一の厚さを形成するために当業者には公知の化学蒸着(chemical vapor deposition: CVD)または物理層堆積(physical layer deposition: PLD)手法を使用して堆積され、次にエッチングされて、均一の高さのパッドを提供する。パッド224は、光学レンズアレイ210の小型レンズを通って伝搬する光を妨げないように、スペーサ220および光学レンズアレイ210の外寸の内側であるものの、光学レンズアレイ210の開口の外側に作成され得る。いくつかの実施形態では、スペーサガラスは、およそ+/-2 μmの厚さ公差で精密研磨される。第1のエポキシ212は光路連結エポキシであり、その屈折率はスペーサ220に整合される(2%未満以内)。第1のエポキシ212はスペーサ220を光学レンズアレイ210に結合する。第2のエポキシ222はスペーサ220を、1550 nmでのコア屈折率が約1.468である光ファイバーを有するファイバーアレイ230に結合する。

【0015】

いくつかの実施形態では、コリメータアセンブリ200Aは、ファイバーアレイ230を集団で形成する、ホールアレイ242の穴に固定された最大176本の光ファイバーで作られ得る。光ファイバー232は、穴の配置が光学レンズアレイ210のレンズの幾何学的配置に整合し、当該レンズの幾何学的配置が次に図1のMEMSアレイ120の幾何学的配置に整合するように、(たとえば、シリコン、ガラス、または金属製の)ホールアレイにおいて組み立てられたシングルモードファイバー(たとえば、SMF28)であり得る。コリメータアレイ250は、取付フランジ240に装着されている。

【0016】

図3A～図3Dは、本技術の1つ以上の局面に従った、ファイバーコリメタ300Aの一例、ファイバーコリメタ300Aに含まれるコリメータアレイ250の正面図300B、成型ガラス光学レンズアレイ300C、ならびに、成型ガラスレンズ332およびスペーサ370を通る光平行化を示す図である。図3Aのファイバーコリメタ300Aは、光ファイバー232と、取付フランジ240と、コリメータアレイ250とを含む。光ファイバー232はSMF28光ファイバーなどのシングルモードであってもよく、上述のホールアレイにおいて組み立てられ、取付フランジ240に装着されている。光ファイバー232は、全光またはハイブリッド光電気ネットワークにおける用途に適するよう、任意の所望の長さで作られ得る。コリメータアレイ250は、光学レンズアレイ210と、スペーサ220と、第1のエポキシ212および第2のエポキシ222と、ホールアレイ242に取り付けられたファイバーアレイ230とを含み、それらはすべて図2Bに示され、上述されたものである。

【0017】

図3Bの正面図300Bに示すコリメータアレイ250は光学レンズアレイ210を含み、それは第1のエポキシ212を使用してスペーサ(たとえば図2の220)に結合され、第2のエポキシ222を介してファイバーアレイ230に結合され、ファイバーアレイ230は次にホールアレイ242に固定される。光学レンズアレイ210は、図示されるように、多くの(たとえば176個の)小型レンズ332を含む。例示的な小型レンズ332も、分解図330に示す。小型レンズ332は、ファイバーアレイ230のファイバーに整列される。ファイバーアレイ230とのレンズアレイ210の整列および装着は、たとえば、6つの自由度と、線形ステージ上の50 nmのステップサイズと、回転ステ

ージ上の $7 \mu\text{rad}$ のステップサイズとを有する自動レンズ整列ロボットを使用して行なわれる。レンズ整列ロボットは、スペーサ 220 の第 2 の（たとえば、レンズアレイから遠位の）表面とファイバーアレイ 230 の第 1 の（たとえば、ホールアレイに近位の）表面との間に均一の間隙高さを設定するために、精密接触センサを使用できる。いくつかの実施形態では、精密接触センサは、2つの表面を共平坦化し、次に、それらの間に一定の $15 \mu\text{m}$ の間隙高さを設定するために使用され得る。

【0018】

1つ以上の実施形態では、光学レンズアレイ 210 は、ファイバーアレイ 230 に対する光学レンズアレイ 210 の水平整列、垂直整列、および回転整列を向上させるために、ファイバーアレイの上段および下段における複数の（たとえば、30～35 本の）ファイバーのファイバー結合効率の測定に基づく光フィードバックシステムを使用して、ファイバーアレイ 230 に整列される。最後に、光路連結エポキシ（たとえば、図 2B のエポキシ 222）が2つの表面間に塗布される。接触センサを使用して $15 \mu\text{m}$ の接合ラインが再設定され、エポキシが UV 硬化され、次に熱硬化されて、アセンブリを完成させる。いくつかの実施形態では、コリメータアセンブリ（たとえば、図 2A の 200A）は、光学レンズアレイ 210 から所望の距離（たとえば、およそ 110 mm ）に設定されたビームウエスト位置と、 1550 nm の波長で測定されたおよそ $400 \mu\text{m}$ のビームウエスト（たとえば、最大ビーム幅の $1/e^2$ ）径とを有する。図 1 の OCS100 のミラーアレイを横断する光路の中央での一定のビームウエストサイズおよび位置は、OCS100 における 2つのコリメータ（たとえば、図 1 の 110 および 130）間での向上したファイバー結合効率および低挿入損失（たとえば、 $< 0.5 \text{ dB}$ ）を、すべてのまたはほぼすべての起こり得るポート接続のために提供する。10

【0019】

図 3C に示す成型ガラス光学レンズアレイ 300C は、2D アレイにおいて配置された好適な形状の複数の（たとえば 176 個の）小型レンズ 332 を含む。小型レンズ 332 は、基板 334 から突出するように形成される。いくつかの実施形態では、2D レンズアレイ 300C は約 $20 \times 20 \text{ mm}$ 角であり、屈折率が高い（たとえば、 1550 nm で ~ 1.78 ）ガラスで作製される。いくつかの実施形態では、小型レンズ 332 は、およそ 2.63 mm という同一の曲率半径（たとえば 1% 以内）と、およそ 3.38 mm という有効焦点距離とを有する球形である。いくつかの実施形態では、小型レンズ 332 の曲率半径および有効焦点距離は、他の値を有し得る。高屈折率ガラスは、球形レンズが、球面収差による著しい挿入損失代償なく使用されることを可能にする。 $< 200 \text{ nm}$ という測定されたレンズ表面形状誤差は精密作製の表われであり、それは、以下に説明される最適なファイバー結合効率および実質的に低い挿入損失をもたらす。表面形状誤差は、レンズの表面上の複数の測定点での、レンズの所望の（たとえば球形の）形状と実際の形状との誤差の積分値である。表面形状誤差は、干渉法により、光学プロファイラーなどの干渉顕微鏡を使用して測定され得る。30

【0020】

スペーサ 370 および光学レンズアレイ 300C の成型ガラスレンズ 332 を通る光平行化を、図 3D に示す。図 1 の 110-1 などのコリメータ 110 の場合、ファイバー 232 の終点 380 からの光学光ビームが、エポキシ層 335 を介して結合されたスペーサ 370 および小型レンズ 332 によって形成された光路を通って平行化され得る。平行化された光は、MEMS アレイ（たとえば、図 1 に示す 120）のミラー 360 から反射された平行ビームである。図 1 の 130-1 などのコリメータ 130 の場合、光はミラー 360 から反射され、次に、平行ビームとして小型レンズ 332 に入射し、小型レンズ 332、第 1 のエポキシ 335、スペーサ 370、および第 2 のエポキシ 375 を通る光路を介して光ファイバー 232 の終点 380 に集束され得る。40

【0021】

図 4 は、本技術の 1 つ以上の局面に従った、図 3C の成型ガラス光学レンズアレイを製造する例示的な方法 400 を示すフロー図である。方法 400 は、レンズアレイ金型を準50

備するステップ(ステップ410)から始まる。レンズアレイ金型は、所望のレンズ曲率半径と同様の曲率半径を有する形作られた(たとえば球形の)チップを使用して好適な材料でマイクロ機械加工される。いくつかの実現形態では、たとえば<200nm以内で小型レンズの完全な(またはほぼ完全な)所望の形を達成するために、金型は、1ミクロン刻みで再度機械加工され、次に、各機械加工の試みの後に再度測定される。

【0022】

ガラスは好適な温度で成型され、初期レンズアレイがレンズアレイ金型を使用して形成される(ステップ420)。所望のレンズアレイ(たとえば、図3Cの300C)のレンズ位置精度は、レンズアレイ上の各レンズの絶対位置に対して所望の位置精度以内(たとえば、<+/-1μm)に維持される。所望の位置精度を達成するために、金型は、それが冷える際のガラスの収縮を補償するように機械加工される。形成された初期レンズアレイは、レンズ位置誤差を判断するために特徴付けられる(ステップ430)。いくつかの実施形態では、特徴付けは、ガラス収縮によって生じるレンズ位置誤差を判断するために、50nmのステップサイズを有する自動整列ロボットを使用して行なわれる。冷却後のガラス収縮を補償するために、較正されたレンズアレイ金型が(たとえば金型を調節すること、または新規の金型を作成することによって)準備される(ステップ440)。たとえば、金型は、ガラス収縮率を補償する調節されたレンズピッチで機械加工され得る。1つ以上の実施形態では、レンズアレイを測定し、次に、ガラス収縮のために金型を較正することは、たとえば誤差が20mmで<1μm(0.005%)である、表面形状測定装置などの利用可能な計測ツールを使用して行なわれ得る。

10

20

【0023】

最終レンズアレイが、較正されたレンズアレイ金型を使用して(ステップ450)、および好適な高屈折率ガラスを使用して準備される。最終レンズアレイは次に、後処理される(ステップ460)。後処理は、上述のようなレンズにARコーティングを追加することと、縁を最終的な所望の寸法にダイシングすることとを含む。

【0024】

図5は、本技術の1つ以上の局面に従った、図2AのOCSコリメータアセンブリ200Aを製造する例示的な方法500を示すフロー図である。方法500は、図4に関して上述された方法400に従って、レンズアレイ、たとえば図3Cのレンズアレイ300Cを準備するステップ(ステップ510)から始まる。コリメータアセンブリ200Aはスペーサ(たとえば、図2Bの220)も含み、スペーサは、その好適な屈折率(たとえば、1550nmで1.456)のために選択された好適なガラス(たとえば、ショットB33)を使用して準備される(ステップ520)。スペーサは、光学レンズアレイ(たとえば、図2Bの210)とファイバーアレイ(たとえば、図2Bの230)との間の平行化距離を維持し、図2Aのコリメータアセンブリ200のビームのビームウエストサイズおよびビームウエスト位置の制御を可能にする。スペーサがファイバーアレイに接合されるのに先立って、スペーサの第1の側の縁(たとえば隅)上に好適な材料(たとえばSiO2/Cr)の層をリソグラフィでパターン化することにより、複数のパッドがスペーサ上に作成される(ステップ530)。パッドは、小型レンズを通じて伝搬する光を妨げないように、図2Bのスペーサ220および光学レンズアレイ210の外寸の内側であるものの、レンズアレイの開口の外側に位置付けられる。いくつかの実施形態では、スペーサガラスは、およそ+/-2μmの厚さ公差で精密研磨される。

30

40

【0025】

レンズアレイをスペーサの第1の側に接合するために、第1のエポキシ(たとえば、図2Bの212)の層が使用される(ステップ540)。第1のエポキシ212は、スペーサに屈折率整合される(2%未満以内)。いくつかの実施形態では、第1のエポキシ212の屈折率値は、スペーサの屈折率の値(たとえば、約1.456)とレンズアレイのガラス材料の屈折率(たとえば、約1.78)とのほぼ中間にある。1つ以上の実施形態では、スペーサが工具取付具に配置され、制御された量の第1のエポキシがスペーサの第1の側に施され、次に、施されたエポキシ上にレンズアレイが配置され、工具取付具の上に

50

おもりがセットされて、レンズアレイとスペーサとの間の第1のエポキシを加圧する。エポキシはUV硬化され、次に熱硬化されて、装着が完了する。次に、図3Bに関して上述されたように、たとえば、6つの自由度と、線形ステージ上の50nmのステップサイズと、回転ステージ上の7μradのステップサイズとを有する自動レンズ整列ロボットを使用して、レンズ・スペーサアセンブリがファイバーアレイ230と整列される（ステップ550）。レンズ整列ロボットは、スペーサの第2の表面とファイバーアレイ230の第1の表面との間に均一の間隙高さを設定するために、精密接触センサを使用できる。いくつかの実施形態では、精密接触センサは、2つの表面を共平坦化し、次に、それらの間に一定の15μmの間隙高さを設定するために使用され得る。スペーサの第2の側をファイバーアレイ（たとえば、図2Bの230）に接合するために、第2のエポキシ層（たとえば、図2Bの224）が使用される（ステップ570）。

【0026】

図6は、本技術の1つ以上の局面に従った、図2のOCSコリメータ200の反射減衰量の例示的なチャート600を示す図である。チャート600は、各ユニットが図2Bに示す光学レンズアレイ210の小型レンズとファイバーアレイ230のそれぞれの光ファイバーとの間の光路を含む、図1のコリメータ110または130（たとえば、図1の110-1または130-1などのコリメータ）の複数の（たとえば176本の）ファイバーについての反射減衰量（return loss（RL）、単位：dB）の変動を示す。プロット610、620、630および640は、Oバンド（1270～1360nm）およびCLバンド（1530～1620nm）の光についての平均RL値、ならびに、OバンドおよびCLバンドの光についての最小RL値にそれぞれ対応する。本技術のコリメータは、光ファイバー/スペーサ界面での反射減衰量の減少のためのエポキシ屈折率を有する第2のエポキシ（たとえば、図2の222）と、レンズアレイの平坦側の反射防止（AR）コーティングとを使用する。

【0027】

上述のように、いくつかの実施形態では、ファイバーアレイは、1550nmでの屈折率が1.468であるSMF28ウルトラファイバーで作られ、一方、レンズアレイは、1550nmでの屈折率が1.78であるガラスで作られている。ファイバーアレイ230および光学レンズアレイ210はガラススペーサによって分離され、ガラススペーサは、ビーム平行化のためにレンズアレイをファイバーアレイから必要な距離離して位置付けるとともに、屈折率整合解決策も提供する。スペーサは、1550nmでの屈折率が1.456であるショットB33ガラスで作られる。第2のエポキシの屈折率は1.462であり、それは、スペーサの屈折率（たとえば、約1.456）と光ファイバーの光学コアの屈折率（たとえば、約1.468）とのほぼ中間にあり、スペーサ/ファイバー界面での反射減衰量を減少させることができる。また、開示されたコリメータは、スペーサ層における建設的干渉からの反射減衰量を減少させるために選択された、レンズ/スペーサ界面にあるレンズ基板（たとえば、図3の334）のために設計されたARコーティングを利用する。

【0028】

いくつかの実施形態では、エポキシ（たとえば、第1および第2のエポキシ）の屈折率は調節可能であり、薄膜転送行列計算で示されるように、ファイバー/エポキシ/スペーサ界面の最小の反射減衰量のために最適化され得る。最適化は、ファイバー/エポキシ界面およびエポキシ/スペーサ界面でエポキシの屈折率が等しい反射率（R）値をもたらす場合に生じ、 $R = ((n_{epoxy} - n_{fiber}) / (n_{epoxy} + n_{fiber}))^2 = ((n_{epoxy} - n_{spacer}) / (n_{epoxy} + n_{spacer}))^2$ である、ということが理解される。適用されるモデルは、例示的な光ファイバー（たとえば、 $n_{fiber} = 1.468$ であるSMF28ウルトラファイバー）、エポキシ（たとえば、 $n_{epoxy} = 1.462$ であるエポキシ）、およびスペーサ（たとえば、 $n_{spacer} = 1.456$ であるショットB33スペーサ）についての分散を含む。光学レンズの平坦側（たとえば第2の表面）のARコーティングは、例示的なエポキシ（たとえば、

10

20

30

40

50

$n_{\text{epoxy}} = 1.462$ であるエポキシ層)を使用して、例示的な基板(たとえば、 $n = 1.78$ であるガラス)およびスペーサ(たとえば、 $n_{\text{spacer}} = 1.456$ であるショットB33)入射媒体について決定され得る。レンズ/エポキシ/スペーサ界面からファイバーに戻る反射のファイバー結合効率は、およそ -32.4 dB である。これがフレネル反射率に追加されて、この界面からの総反射減衰量が生成される。

【0029】

コリメータ反射減衰量は、波長可変レーザを 1270 ~ 1360 nm (O バンド) または 1530 ~ 1620 nm (C L バンド) から 10 pm の分解能で掃引し、反射減衰量振動を測定することによって特徴付けられる。次に、各光ファイバーについての、O バンドおよび C L バンドに対する平均および最小 RL 値が、プロット 610、620、630 および 640 に示されるように求められる。いくつかの実施形態では、反射減衰量仕様を満たさないファイバーポートが排除され得る。1つ以上の実施形態では、コリメータにおける反射減衰量がより多い領域を空間的に突き止めるために、光学後方散乱反射率計が使用される。

10

【0030】

図 7 は、反射防止 (AR) コーティングがある場合、およびない場合の、図 2 の OCS コリメータの反射減衰量の例示的なチャート 700 を示す図である。チャート 700 は、AR コーティングがあるレンズに対応するプロット 710 と、AR コーティングがないレンズに対応するプロット 720 とを含む。反射減衰量値は、O バンドにおける複数の波長について、dB で与えられる。

20

【0031】

測定結果は、エポキシ層の 15 μm の厚さによって設定される 38 nm の周期を有する、エポキシ層における建設的干渉に起因する遅い反射減衰量振動が存在する、ということを示す。また、スペーサの厚さ(この例では 4.146 mm)によって決定される(プロット 720 の速い振動について示されるような) 0.11 nm の周期を有する、スペーサ層における建設的干渉に起因する速い反射減衰量振動も存在する。これらの振動は重ねられる。

【0032】

この明細書は多くの具体的な実現詳細を含んでいるが、これらは、あらゆる発明の範囲または請求され得るものとの範囲に対する限定として解釈されるべきでなく、むしろ、特定の発明の特定の実現化例に特有の特徴の説明として解釈されるべきである。この明細書で別々の実現化例の文脈において説明されたある特徴はまた、単一の実現化例において組合されて実現され得る。反対に、単一の実現化例の文脈において説明されたさまざまな特徴はまた、複数の実現化例において別々に、または任意の好適な部分的組合せで実現され得る。また、特徴はある組合せで作用するとして上述され、さらには、そのようなものとして当初請求され得るもの、請求される組合せからの 1 つ以上の特徴が、場合によってはその組合せから削除されることがあり、また、請求される組合せが部分的組合せに、または部分的組合せの変形に向けられることがある。

30

【0033】

同様に、図面には動作が特定の順序で図示されているが、これは、望ましい結果を達成するために、そのような動作が図示された特定の順序でまたは順番に行なわれること、もしくは、図示されたすべての動作が行なわれることを必要とするものとして理解されるべきではない。特定の状況では、マルチタスキングおよび並行処理が有利であり得る。また、上述の実現化例におけるさまざまなシステムコンポーネントの分離は、すべての実現化例においてそのような分離を必要とするものとして理解されるべきではなく、説明されたコンポーネントおよびシステムは一般に、単一の製品に一体化され、または複数の製品へとパッケージ化され得る、ということが理解されるべきである。

40

【0034】

「または」という用語への言及は、「または」を用いて説明された任意の用語が、説明された用語のうちの 1 つ、2 つ以上、およびすべてのいずれかを示すように、包括的なも

50

のとして解釈され得る。「第1の」、「第2の」、「第3の」などといった表示は必ずしも順序を示すよう意図されてはおらず、一般に、同じまたは同様の品目または要素を単に区別するために使用される。このように、主題の特定の実現化例が説明されてきた。他の実現化例は、請求の範囲内にある。場合によっては、請求項に記載されたアクションは、異なる順序で行なうことができ、依然として望ましい結果を達成することができる。加えて、添付図面に示されたプロセスは必ずしも、望ましい結果を達成するために、図示された特定の順序または順番を必要とはしない。ある実現化例では、マルチタスキングまたは並行処理が使用され得る。

【符号の説明】

【0035】

100：光回路スイッチ（OCS）、210：光学レンズアレイ、212：第1のエポキシ、220：スペーサー、222：第2のエポキシ、224：パッド、230：ファイバーアレイ、232：光ファイバー、242：ホールアレイ、250：コリメータアレイ、332：小型レンズ。

10

【図1】

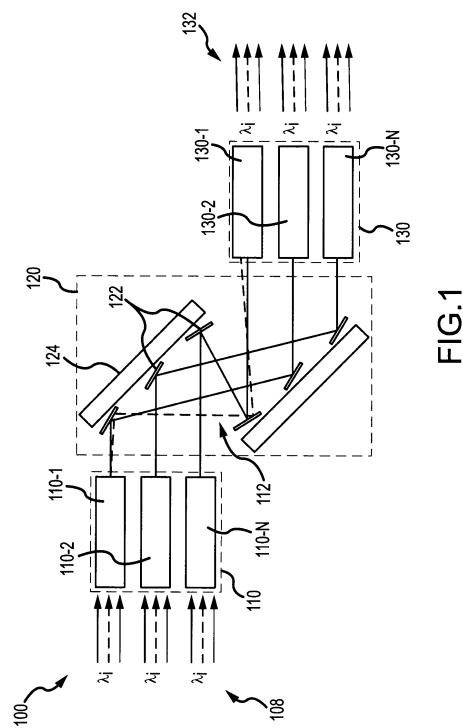


FIG.1

【図2A】

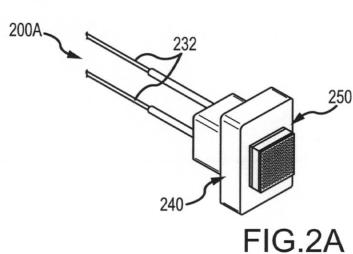


FIG.2A

【図2B】

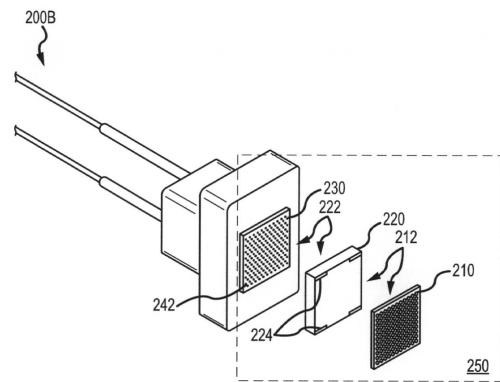


FIG.2B

【図3A】

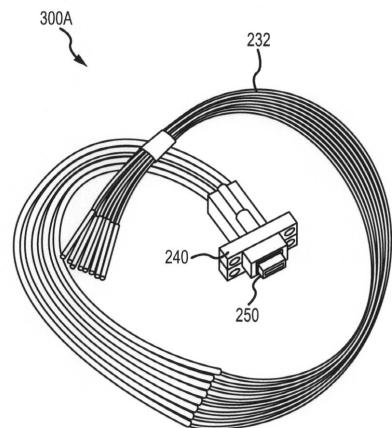


FIG.3A

【図3B】

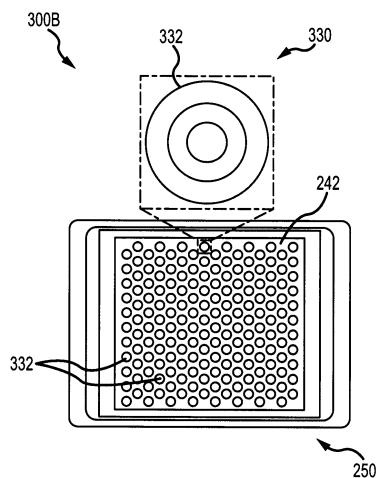


FIG.3B

【図3C】

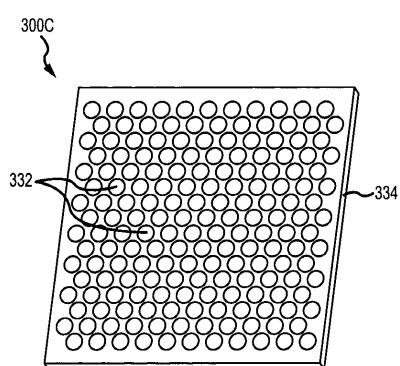


FIG.3C

【図3D】

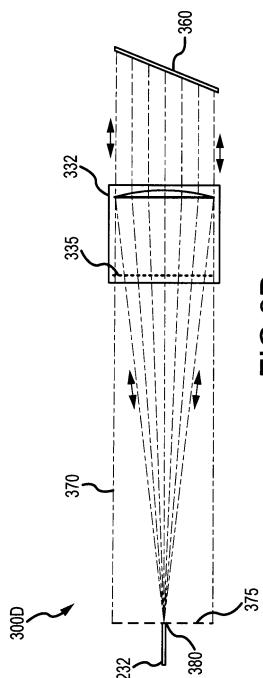


FIG.3D

【 図 4 】

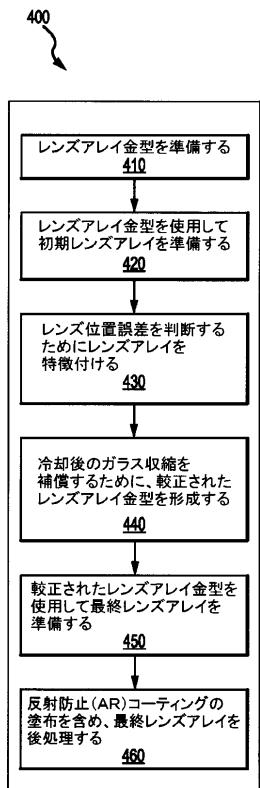


FIG.4

【 四 5 】

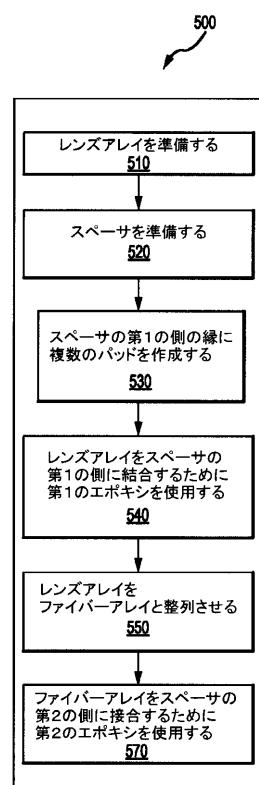


FIG.5

【図6】

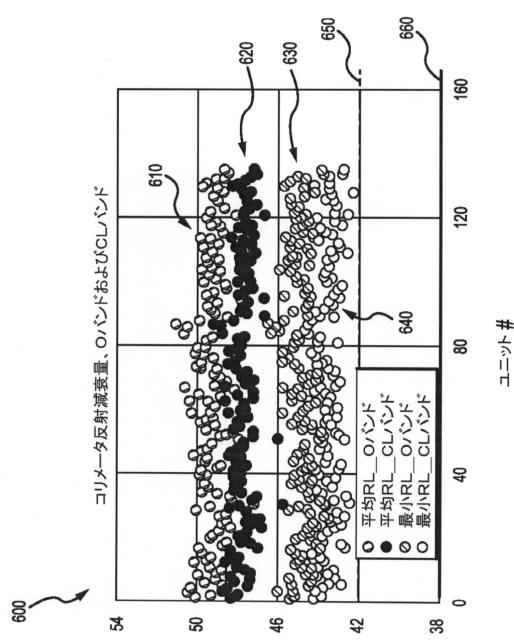


FIG. 6

【 四 7 】

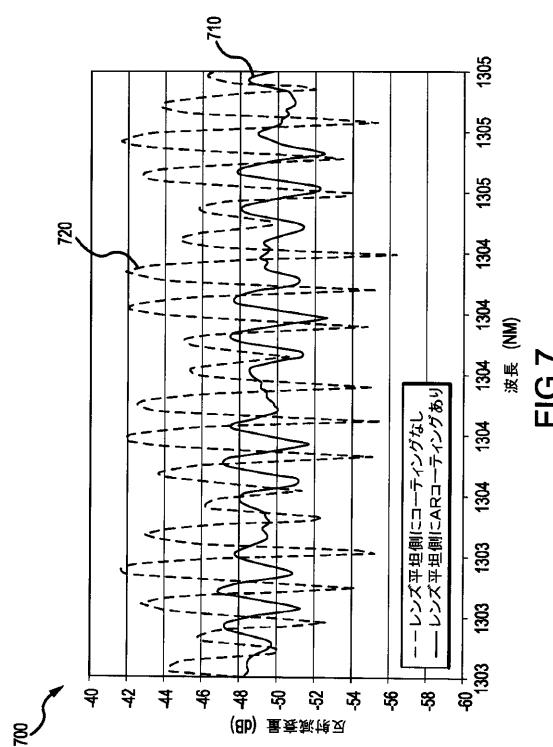


FIG. 7

フロントページの続き

(72)発明者 スティーブン・エム・スウェイン

アメリカ合衆国、94043 カリフォルニア州、マウンテン・ビュー、アンフィシアター・パークウェイ、1600

(72)発明者 ケビン・ワイ・ヤスムラ

アメリカ合衆国、94043 カリフォルニア州、マウンテン・ビュー、アンフィシアター・パークウェイ、1600

審査官 右田 昌士

(56)参考文献 特表2014-521996(JP,A)

特開2004-252244(JP,A)

特開2013-142730(JP,A)

特開2000-231028(JP,A)

特開平9-90159(JP,A)

特開2006-126566(JP,A)

特開平11-125730(JP,A)

特開2004-101847(JP,A)

米国特許第9063313(US,B1)

米国特許第6470123(US,B1)

米国特許第6587618(US,B2)

米国特許第8355609(US,B2)

米国特許第9529155(US,B2)

米国特許第6483961(US,B1)

米国特許出願公開第2009/0057700(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B 6 / 35

G 02 B 6 / 12 - 6 / 14

G 02 B 6 / 26 - 6 / 27

G 02 B 6 / 30 - 6 / 34

G 02 B 6 / 42 - 6 / 43

G 02 B 26 / 00 - 26 / 08