

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2010-503537

(P2010-503537A)

(43) 公表日 平成22年2月4日(2010.2.4)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
B23K 26/067 (2006.01)	B 23 K 26/067	4 E 0 6 8
B23K 26/32 (2006.01)	B 23 K 26/32	4 F 2 1 3
B23K 26/06 (2006.01)	B 23 K 26/06	Z
B23K 26/08 (2006.01)	B 23 K 26/08	B
B29D 11/00 (2006.01)	B 29 D 11/00	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2009-528407 (P2009-528407)
(86) (22) 出願日	平成19年9月10日 (2007. 9. 10)
(85) 翻訳文提出日	平成21年3月13日 (2009. 3. 13)
(86) 國際出願番号	PCT/US2007/077980
(87) 國際公開番号	W02008/033750
(87) 國際公開日	平成20年3月20日 (2008. 3. 20)
(31) 優先権主張番号	11/531,836
(32) 優先日	平成18年9月14日 (2006. 9. 14)
(33) 優先権主張国	米国(US)

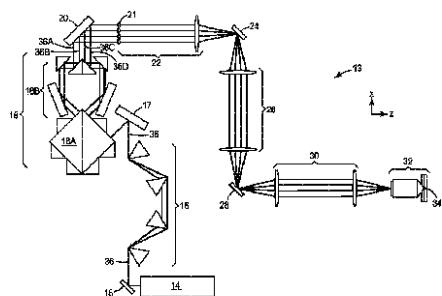
(71) 出願人	505005049 スリーエム イノベイティブ プロパティ ズ カンパニー
	アメリカ合衆国, ミネソタ州 55133 -3427, セント ポール, ポスト オ フィス ボックス 33427, スリーエ ム センター
(74) 代理人	100099759 弁理士 青木 篤
(74) 代理人	100077517 弁理士 石田 敏
(74) 代理人	100087413 弁理士 古賀 哲次
(74) 代理人	100111903 弁理士 永坂 友康

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】多光子硬化性光反応性組成物を加工するのに好適な光学システム

(57) 【要約】

実質的に等しいエネルギーと実質的に等しい光路長とを有する複数のレーザービームレットを生成することの可能なビームスプリッタ装置を備える光学システム。1つの用途において、前記光学システムの前記ビームレットは、多光子硬化性光反応性樹脂に向けられて複数の実質的に等しい寸法のボクセルを同時に加工してもよい。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光ビームを提供するための光源と、
前記光ビームを実質的に等しいエネルギーを有する少なくとも第1のビームレットと第2のビームレットとに分割するためのビームスプリッタシステムと、
多光子硬化性光反応性組成物の層と、
前記層の、少なくとも第1のサブフィールドと第2のサブフィールドとを含む視野を画定する対物レンズであって、前記第1のサブフィールドが前記第1のビームレットの第1の走査領域を画定し、前記第2のサブフィールドが前記第2のビームレットの第2の走査領域を画定する対物レンズと、を備える加工システム。

10

【請求項 2】

前記第1のビームレットを成形する少なくとも第1のマイクロレンズと前記第2のビームレットを成形する第2のマイクロレンズとを備えるマイクロレンズアレイを更に備える、請求項1に記載の加工システム。

【請求項 3】

前記第1のマイクロレンズが前記対物レンズの前記視野内の前記第1のサブフィールドと光学的に整列し、前記第2のマイクロレンズが前記第2のサブフィールドと光学的に整列する、請求項2に記載の加工システム。

【請求項 4】

前記ビームスプリッタシステムが、
ビームスプリッタと、
前記ビームスプリッタの周囲に配置され、前記ビームスプリッタと光学的に接触する複数のプリズムと、を備える、請求項1に記載の加工システム。

20

【請求項 5】

前記ビームスプリッタシステムの各プリズムが、立方体プリズム、ペンタプリズム、及びポロプリズムからなる群から選択される、請求項4に記載の加工システム。

【請求項 6】

前記ビームスプリッタシステムの前記ビームスプリッタが立方体ビームスプリッタである、請求項4に記載の加工システム。

30

【請求項 7】

前記ビームスプリッタシステムが、
前記第1のビームレット及び前記第2のビームレットをアレイに配列するように構成されたフォーカシング部
を更に備え、前記対物レンズの前記第1のサブフィールド及び前記第2のサブフィールドが実質的に同一のアレイに配列される、請求項4に記載の加工システム。

【請求項 8】

前記第1のビームレット及び前記第2のビームレットの光路長が実質的に等しい、請求項1に記載の加工システム。

【請求項 9】

前記第1のサブフィールド内の前記第1のビームレット及び前記第2のサブフィールド内の前記第2のビームレットを走査するビームレット走査システムを更に備える、請求項1に記載の加工システム。

40

【請求項 10】

前記ビームレット走査システムが検流計スキャナーを備える、請求項9に記載の加工システム。

【請求項 11】

前記ビームレット走査システムが前記ビームスプリッタシステムと前記対物レンズとの間に配置される、請求項9に記載の加工システム。

【請求項 12】

前記ビームレット走査システムが前記対物レンズと前記多光子硬化性光反応性組成物の

50

層との間に配置される、請求項 9 に記載の加工システム。

【請求項 13】

前記ビームレット走査システムが、

前記第1のビームレット及び前記第2のビームレットのそれぞれのz軸位置を前記層に對して調節するz軸テレスコープと、

前記第1のビームレット及び前記第2のビームレットのそれぞれを前記第1のサブフィールド及び前記第2のサブフィールド内のx軸方向にそれぞれ走査する第1のステアリングアセンブリと、

前記第1のビームレット及び前記第2のビームレットのそれぞれを前記第1のサブフィールド及び前記第2のサブフィールド内のy軸方向にそれぞれ走査する第2のステアリングアセンブリと、を備える、請求項9に記載の加工システム。 10

【請求項 14】

前記光ビームがレーザビームである、請求項1に記載の加工システム。

【請求項 15】

前記光ビームのパルス幅を調節する分散補償システムを更に備える、請求項1に記載の加工システム。

【請求項 16】

光ビームを提供する光源と、

前記光ビームを実質的に等しいエネルギーを有する少なくとも(2ⁿ-1)のビームレットに分割するビームスプリッタシステムであって、前記ビームスプリッタが、 20

ビームスプリッタ、及び

前記ビームスプリッタと光学的に接触する(2ⁿ-2)個のプリズムを含むビームスプリッタシステムと、

像面の、複数のサブフィールドを含む視野を画定する対物レンズであって、前記複数のサブフィールドの少なくとも1つが前記ビームレットの少なくとも1つの走査領域を画定する対物レンズと、を備える光学システム。

【請求項 17】

前記サブフィールドの少なくとも1つの中の前記ビームレットの少なくとも1つを走査するビームレット走査システムを更に備える、請求項16に記載の光学システム。 30

【請求項 18】

前記像面に対する前記ビームレットのそれぞれのz軸位置を調節するz軸テレスコープと、

前記サブフィールドの少なくとも1つの中で前記ビームレットのそれぞれをx軸方向に走査する第1のステアリングアセンブリと、

前記サブフィールドの少なくとも1つの中で前記ビームレットのそれぞれをy軸方向に走査する第2のステアリングアセンブリと、を更に備える、請求項16に記載の光学システム。

【請求項 19】

前記第1のステアリングアセンブリがコンピュータ制御される第1のミラーを備え、前記第2のステアリングアセンブリがコンピュータ制御される第2のミラーを備える、請求項18に記載の光学システム。 40

【請求項 20】

前記ビームレットの少なくとも1つを成形する少なくとも1つのマイクロレンズを備えるマイクロレンズアレイを更に備える、請求項16に記載の光学システム。

【請求項 21】

前記ビームスプリッタ装置が前記ビームレットをアレイに配列するように適合された光学素子を有し、前記アレイが線形アレイか二次元アレイのいずれかである、請求項16に記載の光学システム。

【請求項 22】

前記ビームスプリッタシステムの各プリズムが、立方体プリズム、ペンタプリズム、及 50

びポロプリズムからなる群から選択される、請求項 1 6 に記載の光学システム。

【請求項 2 3】

前記ビームスプリッタシステムの前記ビームスプリッタが立方体ビームスプリッタである、請求項 1 6 に記載の光学システム。

【請求項 2 4】

多光子硬化性光反応性組成物を含む層をその上に有する基材を提供する工程と、光学システムを介して少なくとも 2 つのビームレットを前記層に適用する工程であって、前記光学システムが、

光ビームを、実質的に等しいエネルギーを有する前記ビームレットに分割するビームスプリッタシステム、及び

前記層の個々のサブフィールド内の前記ビームレットのそれぞれを走査するビームレット走査システム

を備える、工程と、

各サブフィールド内の前記層の領域を前記ビームレットで選択的に硬化する工程と、を含む方法。

【請求項 2 5】

前記ビームレットを前記層に対して x 軸方向、y 軸方向、及び z 軸方向に走査する工程を更に含む、請求項 2 4 に記載の方法。

【請求項 2 6】

前記ビームレットの x 軸位置を前記層に対して調節する工程が第 1 のステアリングミラーを傾ける工程を含み、前記ビームレットのそれが前記第 1 のステアリングミラーに反射しあつ前記 x 軸方向に旋回し、前記ビームレットの y 軸位置を前記層に対して調節する工程が第 2 のステアリングミラーを傾ける工程を含み、前記ビームレットのそれが前記第 2 のステアリングミラーに反射しあつ前記 y 軸方向に旋回する、請求項 2 5 に記載の方法。

【請求項 2 7】

前記ビームスプリッタシステムが、
ビームスプリッタと、

前記ビームスプリッタと光学的に接触する (2 n - 2) 個のプリズムと、を備え

前記ビームスプリッタ装置が光ビームを、前記ビームスプリッタ装置を通って実質的に等しい光路長を移動し実質的に等しいエネルギーを呈する (2 n - 1) ビームレットに分割し、前記ビームレットのそれが前記層の個々のサブフィールド内で走査される、請求項 2 4 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は光学システムに関し、より詳細には、光硬化性材料を用いた加工プロセスで使用するのに好適な光学システムに関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

全体を参照により本明細書に組み入れる米国特許第 6,855,478 号に記載されているような多光子硬化プロセスにおいて、多光子硬化性光反応性組成物を含む材料の層は基材（例えば、シリコンウエファー）に適用され、レーザビームのようなフォーカスされた放射エネルギー源を用いて選択的に硬化される。多光子硬化技術は二次元及び／又は三次元（3D）ミクロ構造及びナノ構造を加工するのに有用であり得る。

【0 0 0 3】

1 つの加工技術において、近赤外（NIR）放射線のパルス状のレーザビームが、関わるフォトポリマー樹脂内にフォーカスされるとボクセルが生成される。樹脂内の非線形相互作用の過程が NIR 放射線の一部を短い波長に変換し、これにより、NIR 放射線の二光子が実質的に同時に吸収されると、レーザビームの焦点の近くの樹脂を硬化させる。樹

脂の硬化は「光重合」と呼ばれてもよく、そのプロセスは「二光子光重合」プロセスと呼ばれてもよい。NIR放射線の強度が十分でない部分に暴露された樹脂の領域では樹脂がNIR放射線を吸収しないので樹脂の光重合は発生しない。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

3D構造は、三次元のレーザビームの焦点の位置を樹脂に対して（即ち、x-軸方向、y-軸方向、及びz-軸方向）制御することにより、多光子光重合プロセスを用いてボクセル毎（voxel-by-voxel）に構築することが可能である。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本明細書に記載の光学システムは、像面に向けられる複数の光ビームレットに関し、各光ビームレットは像面の個々のサブフィールドにおいて走査されてもよい。光学システムは、複数の二次元（2D）及び／又は三次元（3D）構造を同時に加工するために多光子光重合プロセスに組み込まれてもよく、このことは商業的用途に有用であり得る。具体的には、複数のビームレットが多光子硬化性光反応性樹脂に向けられて複数の実質的に等しい寸法のボクセルを同時に加工してもよい。このようにして、光学システムは、多光子製造プロセスの生産量を、アレイの中の多くのビームレットの数（例えば、何十、何百、又は何千）にほぼ等しい増大率で増加させるのに有用である場合がある。1つ以上の入射光ビームから、実質的に等しいエネルギー（即ち、強度）を呈し、更には実質的に等しいパルス幅を呈することのできる複数の光ビームレットを生成することが可能なビームスプリッタ装置が光学システムに組み込まれる。一実施形態において、前記ビームレットは入射光ビームを繰り返し分割することにより形成される。本発明の前記光学システムは、他の光学部品、例えば感光性樹脂の層内でビームレットを精密に走査するための複数のステアリングミラーを更に備えてもよい。

【0006】

一実施形態において、本発明は、近赤外光ビームを提供するための光源と、前記光ビームを少なくとも第1のビームレットと第2のビームレットとに分割するためのビームスプリッタシステムと、多光子硬化性光反応性組成物の層と、前記層の少なくとも第1のサブフィールド及び第2のサブフィールドを含む視野を画定する対物レンズとを備える加工システムを目的とする。前記第1のビームレット及び第2のビームレットのエネルギーは実質的に等しい。前記対物レンズによって画定される前記視野の前記第1のサブフィールドは前記第1のビームレットの第1の走査領域を画定し、前記第2のサブフィールドは前記第2のビームレットの第2の走査領域を画定する。

【0007】

別の実施形態において、本発明は、光ビームを提供するための光源と、前記光ビームを実質的に等しいエネルギーを有する、及びいくつかの実施形態においては実質的に等しい光路長を有する少なくとも（2ⁿ-1）のビームレットに分割するためのビームスプリッタシステムと、像面の複数のサブフィールドを含む視野を画定する対物レンズと、を備える光学システムであって、前記複数のサブフィールドの少なくとも1つが、少なくとも1つのビームレットの走査領域を画定する光学システムを目的とする。前記ビームスプリッタは、ビームスプリッタと、前記ビームスプリッタと光学的に接触する（2ⁿ-2）個のプリズムとを備える。

【0008】

更に別の実施形態において、本発明は、多光子硬化性光反応性組成物を含む層をその上有する基材を提供する工程と、光学システムを介して実質的に等しいエネルギーを有する少なくとも2つのビームレットを該層に適用する工程とを含む方法を目的とする。前記光学システムは、光ビームを、前記実質的に等しいエネルギーを有する少なくとも2つのビームレットに分割するためのビームスプリッタシステムを有するビームスプリッタ装置と、前記層の個々のサブフィールド内の前記ビームレットのそれぞれを走査するためのビ

10

20

30

40

50

ームレット走査システムとを含む。前記方法は、前記各サブフィールド内の層の領域を前記ビームレットで選択的に硬化する工程を更に含む。

【0009】

本発明の1つ以上の実施形態の詳細は、添付図面及び以下の説明において記載される。本発明の他の特徴、目的、及び利点は、その説明と図面から、及び特許請求の範囲から明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1A】本発明の一実施形態による光学システムのブロック図。

【図1B】図1Aの光学システムの実施形態である光学システムの概略図。 10

【図2】図1Bの光学システムに組み込まれてもよいマイクロレンズアレイの概略断面図。

【図3A】図1Bの光学システムの集束レンズの視野の略図を示しており、視野は、像面のx-y平面に実質的に平行なx-y平面に位置している。

【図3B】視野とサブフィールドがずれている、図3Aの視野の略図。

【図3C】集束レンズの視野の別の実施形態を示している。

【図3D】樹脂の層内の複数のビームレットの焦点の強度と、それぞれのビームレットによって形成されるボクセルの寸法との関係を示すグラフ。

【図3E】樹脂の層にフォーカスしている複数のビームレットを示す概略断面図。

【図4】図1Aの光学システムに組み込まれてもよいビームスプリッタ装置の一実施形態の斜視図。 20

【図5A】図1Bのビームスプリッタ装置を組み込んだビームスプリッタシステムの一実施形態の概略図。

【図5B】入射光ビームがビームスプリッタ装置を伝搬している、図4及び図5Aのビームスプリッタ装置の概略断面図。

【図6】図1Aの光学システムに組み込まれてもよいビームスプリッタ装置の別の実施形態の斜視図。

【図7A】図6のビームスプリッタ装置を組み込んだビームスプリッタシステムの別の実施形態の概略図。

【図7B】入射光ビームがビームスプリッタ装置を伝搬している、図6及び図7Aのビームスプリッタ装置の概略断面図。 30

【発明を実施するための形態】

【0011】

図1Aは本発明の一実施形態による光学システム1のブロック図であり、光ビーム源2と、ビームスプリッタ4と、ビームレット位置決めシステム6と、対物レンズ8と、ワークピース10と、を備える。光ビーム源2は、コリメート(collimated)されたレーザビーム又は収束レーザビームのような光線を生成し、それをビームスプリッタ4がほぼ等しいエネルギー(即ち、強度)及びほぼ等しいパルス幅を呈する複数のビームレットに分割する。偶数又は奇数のビームレットが生成されてもよく、ビームスプリッタ4は入射レーザビームを任意の好適な数のビームレット、例えば何十、何百又は何千ものビームレットに分割してもよい。「ビームレット」は通常、別の光ビームを分割して生成されるレーザビームを言う。一実施形態において、ビームレットは入射光ビームを繰り返し分割することにより生成される。光学システム1に組み込まれることが可能な好適なビームスプリッタの例は、以下に、更には、本開示と同日付で出願されその内容全体を本明細書に組み入れる米国特許出願第11/531870号(3M弁理士ドケット番号62110US002)に記載されている。 40

【0012】

ビームレット位置決めシステム6は、ビームスプリッタ4からのビームレットを、光学システム1の具体的な配置及びビームレットの所望の伝搬方向に応じてx軸、y軸、及びz軸方向に走査する。図1Bを参照して以下に記載されるように、ビームレット位 50

置決めシステム 6 は、ビームスプリッタ 4 により生成されたビームレットの傾斜角を正確に導くための複数のステアリングミラーのような光学部品を更に備えることが可能である。ビームレット位置決めシステム 6 はまた、対物レンズ 8 で、及び一実施形態においては対物レンズ 8 の瞳孔でビームレットをフォーカスし / ビームレットを配列させてもよい。

【 0 0 1 3 】

光学システム 1 は、多光子光重合製造プロセスのような光学的加工プロセスに実装するのに有用であり得、その場合ワーカピース 10 は感光性樹脂の層（例えば、多光子硬化性光反応性組成物）であってもよい。好適な多光子硬化性光反応性組成物の例は、米国特許出願第 60 / 752,529 号、名称「多光子硬化性光反応性組成物の加工方法及び装置（METHOD AND APPARATUS FOR PROCESSING MULTIPHOTON CURABLE PHOTOREACTIVE COMPOSITIONS）」、及び米国特許出願第 11 / 313,482 号に記載されており、これらは共にそれら全体が参照により本明細書に組み込まれる。

10

【 0 0 1 4 】

光学的加工プロセスに実装される場合、光学システム 1 の対物レンズ 8 は、樹脂の層 10 内にほぼ等しい寸法の複数のボクセルを加工するために樹脂の層 10 の領域を選択的に硬化するため、ほぼ等しいエネルギー及び光路を有する複数のビームレットを樹脂の層 10 に方向づけるように適合される。このように、複数の構造を加工するために複数のビームレットを同時に用いることができる。光学システム 1 は、構造が反復パターン又は非反復パターンを含んでいるかにかかわらず、多光子加工プロセスの生産量をアレイの中の多くのビームレット（例えば、何百又は何千）の数にほぼ等しい増大率で増加することができる。一実施形態において構造は実質的に同様であり、別の実施形態において構造は同様ではない。更に別の実施形態において、単一構造を製造するために光学システム 1 からの 2 つ以上のビームレットが用いられてもよい。1 つ以上のビームレットで単一構造を加工することは、1 つのビームレットで比較的大きな構造を加工するプロセスと比べて加工時間を短縮することができる。

20

【 0 0 1 5 】

図 1 B は、図 1 A の光学システム 1 の実施形態である光学システム 13 の概略図である。光学システム 13 は、レーザビーム源 14 と、分散補償部 16 と、ビームスプリッタシステム 18 と、ミラー 20 と、マイクロレンズアレイ 21 と、z 軸テレスコープ 22 と、第 1 のステアリングミラー 24 と、第 1 のリレー 26 と、第 2 のステアリングミラー 28 と、第 2 のリレー 30 と、集束レンズ 32 を備える。図 1 A のビームスプリッタ 4 はビームスプリッタシステム 18 を備え、図 1 A の対物レンズ 8 は集束レンズ 32 であってもよい。図 1 A のビームレット位置決めシステム 6 は、z 軸テレスコープ 22 と、第 1 のステアリングミラー 24 と、第 1 のリレー 26 と、第 2 のステアリングミラー 28 と、第 2 のリレー 30 とを備えてよい。

30

【 0 0 1 6 】

光学システム 13 は、樹脂の層 34 に焦点を合わせて選択的に硬化させる、複数のフォーカスされたレーザービームレット 36 A ~ 36 D を作り出す。光学システム 13 は、埃の量及び / 又はその中で光学システム 13 が動作する温度を制御するために、環境コントロールされた環境の中に入れらるるが可能である。ビームレット 36 A ~ 36 D は、光学システム 13 の中を通ってほぼ等しい光路長さを移動する。広くは、光学システム 13 の中を通る「光路」は、1 つ以上のレーザビーム（又はビームレット）のレーザビーム源 14 から集束レンズ 32 までの経路である。光学システム 1 と同様に、光学システム 13 は多光子光重合加工プロセスのような光学的加工プロセスに実装されるのに有用であることがあり、その場合、樹脂の層 34 は、複数のフォーカスされたレーザービームレット 36 A ~ 36 D によってほぼ同時に複数の領域が選択的に硬化される感光性樹脂の層（例えば、多光子硬化性光反応性組成物）であってもよい。

40

【 0 0 1 7 】

一実施形態において、樹脂の層 34 の好適な多光子硬化性光反応性組成物は、酸又はラジカル開始化学反応を受けることの可能な少なくとも 1 種類の反応種、並びに多光子開始

50

剤系を含む。例えば、ビームレット36A～36Dからの近赤外線(NIR)強度であってもよい適切な波長及び十分な強度の光(閾値の強さ)のビームレット36A～36Dで樹脂の層34の領域を、像様露光することにより、多光子開始剤系で二光子吸収を引き起こし、光に暴露された層の領域で反応種の酸又はラジカル開始化学反応を誘発する。この化学反応は、樹脂の層34のビームレット36A～36Dに暴露された領域の化学的特性又は物理的特性に検出可能な変化を引き起こす。検出可能な変化の例には、例えば、架橋、重合、及び/又は暴露前の光反応性組成物と比較した溶解度特性の変化(例えば、特定の溶媒における溶解度の増減)が挙げられる。これらの検出可能な変化のうちのいずれかが発生することを、本明細書においては硬化と呼び、この硬化は、硬化物体が形成されるまで継続する。硬化工程は樹脂の層34の任意の領域で起こり得る。硬化工程に続き、樹脂の層34は、硬化物を得るために硬化されていない部分を取り除くことにより、又は層から硬化物そのものを取り除くことにより任意に現像されてもよい。

10

【0018】

光学システム13のその他の用途において、像面は、別の材料又は別の種類の像面(例えば、測定されている表面)から構成されていてもよい。更に、用語「面」は像面を実質的に平らな表面に限定することを意図しない。本明細書では、光学システム13は二光子多光子光重合システムに関して記載されているが、他の実施形態では光学システム13は、他の多光子光重合システム及び、光硬化性材料から2D又は3D構造を加工するための他の光学システムに実装されてもよい。

20

【0019】

図1Bの実施形態において、レーザビーム源14は、レーザビーム36を比較的短いパルス幅の一連のパルスで出力する(例えば、約200フェムトセカンド(fs)未満であるが、光学システム13の用途及び要件に応じて他のパルス幅が適用されてもよい)。レーザビーム源14は、例えば、フェムトセカンドクラスのレーザビーム発生器であってもよく、又は短コヒーレント光源(例えば、コリメートされたアークランプ)であってもよい。代替的実施形態において、レーザビーム源14は収束レーザビーム発生器であってもよい。更に別の実施形態において、他の好適な放射エネルギー源をレーザビーム源14の代用としてもよい。更に、光学システム13は2つ以上のレーザビーム源14を備えてもよい。例えば、2つ以上のレーザビーム源14(又は他の放射エネルギー源)は、ビームレット36A～36D当たり特定の電力レベル(例えば、ビームレット36A～36D当たり0.5ワット)を得るために必要である場合がある。追加のレーザビーム源を、レーザビーム源14に隣接して又はレーザビーム源14に対して任意の関係で配置してもよい。例えば、複数のレーザビーム源から放射する複数のレーザビームが分散補償システム16を伝搬する前に収束するように、2つ以上のレーザビーム源は分散補償システム16の「上流」に配置されてもよい。あるいは、レーザビーム源14は2つ以上のレーザビーム36を出力してもよい。

30

【0020】

位置決めミラー15は、レーザビーム36がレーザビーム源14を出射した後にレーザビーム36を位置決めする。代替的実施形態において、レーザビーム36の伝搬の所望の方向に応じて、レーザビーム36を位置決めするために2つ以上の位置決めミラー15を用いてもよい。別の代替的実施形態において、位置決めミラー15は光学システム13から除去されてもよく、レーザビーム36は方向を変えずに分散補償システム16を伝搬してもよい。1つ以上の位置決めミラー15の構成は、光学システム13の設計及びレーザビーム源14を出た後のレーザビーム36の所望の伝搬方向に応じて変更されてもよい。

40

【0021】

レーザビーム36は、レーザビーム36を再形成するために及びレーザビーム36が光学システム13を通過した結果起こる任意の分散を補償するために、分散補償システム16を通過する。例えば、一部の例では、光学システム13によって画定される光路の全体を通じて比較的短いパルス幅が望ましい場合がある。しかしながら、一部の偶発的な分散は、ビームスプリッタシステム18、マイクロレンズアレイ21、リレー26及びリレー

50

30などの光学素子（例えば、プリズム、レンズ、ミラーなど）に起因する場合があるので、レーザビーム36のパルス幅は所望のパルス幅の範囲から外れてもよい。分散補償システム16は、樹脂の層34よりも前の、光学システム13に沿ったいずれの場所に定置されてもよい。更に、いくつかの実施形態において、光学システム13は分散補償システム16を備えなくてもよい。

【0022】

分散補償システム16を通過した後、レーザビーム36は、レーザビーム36をほぼ等しい光路長を移動するほぼ等しいエネルギーの複数のビームレット36A、36B、36C、及び36Dに分割するビームスプリッタシステム18を通過する。図1Bには4つのビームレット36A～36Dが示されているが、他の実施形態では、ビームスプリッタシステム18はレーザビーム36を任意の偶数又は奇数のビームレット、例えば5、8、16、32等に分割してもよい。更に、ビームスプリッタシステム18はレーザビーム36を任意の好適な数のビームレット、例えば何百又は何千のビームレットに分割してもよい。好適なレーザービームスプリッタシステム18の例示的な実施形態が図5A及び図7Aに示されている。

10

【0023】

ビームスプリッタシステム18は、ビームスプリッタ装置18Aとフォーカシング部18Bとを備えている。ビームスプリッタ装置18Aは入射レーザビーム36をビームレット36A～36Dに分割し、フォーカシング部18Bはビームレット36A～36Dをビームレットの線状アレイに配列する。代替的実施形態において、フォーカシング部18Bはビームレット36A～36Dを、2Dアレイ又はランダム配列のような任意の好適な配列に配列してもよい、奇数のビームレットは、一実施形態において、例えば、奇数のビームレット36A～36Dを吸収することによって達成されてもよい。例えば、ビームレット36Aは、光ビームレットを吸収するのに好適な熱伝導性材料でコーティングされた黒の金属板で吸収されてもよい。ビームスプリッタ装置18A及びフォーカシング部18Bの例が図4（ビームスプリッタ装置100及びフォーカシング部153）及び図6（ビームスプリッタ装置300及びフォーカシング部356）に示されている。代替的実施形態において、光学システム13は2つ以上のビームスプリッタシステムを備えることが可能である。例えば、ビームレット36A～36Dのそれぞれを1つ以上のビームレットに更に分割するために、図1に示される実施形態において第2のビームスプリッタシステムはビームスプリッタシステム18の後に置かれてもよい。

20

【0024】

ビームレット36A～36Dがビームスプリッタシステム18を出射した後、ビームレット36A～36Dはミラー20に反射し、線状アレイ配列を維持した状態で約90°旋回する。光学システム13の構成及びビームレット36A～36Dの所望の方向に応じて、ビームレット36A～36Dはまた、ビームスプリッタシステム18を出射して約90°旋回することなくz軸テレスコープ22を通って移動してもよく、あるいは、ビームレット36A～36Dは2つ以上のミラー20で反射しても又は別の角度で方向を変えてよい。ビームレット36A～36Dの線状アレイは、ビームレット36A～36Dをフォーカスし且つ成形するマイクロレンズアレイ21を通って進む。

30

【0025】

図2はマイクロレンズアレイ21の概略断面図である。マイクロレンズアレイ21は、線状アレイに配列された4つのマイクロレンズ42、44、46、及び48を含む。所望の放射照度を得るためにビームレット36A～36Dのそれぞれを成形するため、各マイクロレンズ42、44、46、及び48の表面は非球面であってもよい。例えば、マイクロレンズアレイ21は収束ビームレット（converging beamlet）36A～36Dを生成してもよい。マイクロレンズ42、44、46、及び48はそれぞれ溶融石英又は任意の他の好適な光学材料から製造されてもよい。好ましくは、光学材料は低分散で高温安定性の材料である。図2の実施形態において、マイクロレンズアレイ21は、マイクロレンズ42、44、46、及び48のそれぞれが1つのビームレット36A、36B、36C又は

40

50

36Dを受け取るように配列され、従ってマイクロレンズ42、44、46、及び48はビームレット36A～36Dと同様の線状アレイ配列に配列される。例えば、ビームレット36Aはマイクロレンズ42を通って進み、ビームレット36Bはマイクロレンズ44を通って進み、ビームレット36Cはマイクロレンズ46を通って進み、ビームレット36Dはマイクロレンズ48を通って進む。

【0026】

代替的実施形態において、マイクロレンズ21は、任意の好適な配列に配列された任意の好適な数のマイクロレンズを備える。典型的には、ビームスプリッタ装置18によって生成されるビームレット36A～36Dの数とマイクロレンズアレイ21のマイクロレンズの数は等しい。更に、マイクロレンズは通常、ビームレット36A～36Dの配列と同様に配置される。例えば、2Dアレイの複数の横列及び縦列の16のビームレットがビームスプリッタシステム18から放射される場合、マイクロレンズアレイ21は通常、それぞれのマイクロレンズとビームレットを光学的に配列させるために、同様の横列及び縦列の配列に配列された16の2Dアレイを有する。ビームレットがマイクロレンズと「光学的に配列される」場合、ビームレットはマイクロレンズを通過するように配列される。しかしながら、別の代替的実施形態において、マイクロレンズ（例えば、マイクロレンズ42、44、46、又は48）は2つ以上のビームレットを受け取り且つフォーカスしてもよい。更に他の代替的実施形態において、マイクロレンズアレイ21は光学システム13から削除されてもよい。例えば、レーザビーム源14が収束ビームを出力する場合、レーザービームレット36A～36Dはレーザビーム36として十分にフォーカスされている場合があり、ビームレット36A～36Dはビームスプリッタシステム18を通過するので、マイクロレンズアレイ21は必要ない場合がある。

10

20

30

40

【0027】

ここで図1Bを参照すると、ビームレット36A～36Dは、マイクロレンズアレイ21を通った後にz軸テレスコープ22を通過する。3D構造は、ビームレットのフォーカスの位置を樹脂の層34に対して三次元（即ち、x軸方向、y軸方向、及びz軸方向）に調整することで、樹脂の層34内にボクセル毎で構築されてもよい。説明の目的で直交するx-z軸が図1Bに示されている。z軸テレスコープ22は、樹脂の層34に対するビームレット36A～36Dのz軸位置を調節する。特に記載のない限り、z軸テレスコープ22はビームレット36A～36Dをz軸方向に「走査」する。例えば、コンピュータ制御された装置は、樹脂の層34内のビームレット36A～36Dのz軸位置を調節するようにz軸テレスコープ22を制御してもよい。ビームレット36A～36Dのz軸位置が調節されると、各ビーム36A～36Dの焦点も同様に樹脂34内のz軸方向に移動する。所望であれば、ビームレット36A～36Dが焦点のそれぞれで樹脂34を硬化するように、ビームレット36A～36Dは適切な波長及び強度を有するように調節することが可能である。その結果、z軸テレスコープ22は、樹脂の層34内で加工されている3D構造のz軸寸法の調節を補助する。z軸テレスコープ22は、樹脂の層34を移動させる必要なく、ビームレット36A～36Dのz軸位置の調節を可能にする。しかしながら、いくつかの実施形態において、樹脂の層34はまたz軸方向に移動されてもよく、これは一定の奥行き有する3D構造の加工に有用である場合がある。例えば、一実施形態において、樹脂の層34（又は別のワークピース）をx軸方向、y軸方向、及びz軸方向に移動させる機械装置を制御するために、ペンシルバニア州ピッツバーグ（Pittsburgh, Pennsylvania）のエアロテック社（Aerotech, Inc.）製の制御システムを使用してもよい。樹脂の層34を移動させることはまた、集束レンズ32の視野50（図3A）よりも大きな構造を加工するのに有用であり得る。

50

【0028】

z軸テレスコープ22を通過後、ビームレット36A～36Dは第1のステアリングミラー24に反射して第1のリレー26を通る。第1のステアリングミラー24は、ビーム36A～36Dが伝搬する角度を調節して樹脂の層34内のビームレット36A～36Dを走査する、電気的に制御可能なミラーである。図1Bの実施形態において、第1のステ

50

アーリングミラー 24 は、樹脂の層 34 に対するビームレット 36A～36D の x 軸位置を調節するために x 軸で回転し、これによりビームレット 36A～36D のそれぞれにより選択的に硬化される樹脂の層 34 の領域の x 軸位置の選択が可能になる。第 1 のステアリングミラー 24 はビームレット 36A～36D を x 軸方向に走査して、各ビームレット 36A～36D の焦点の x 軸位置を変化させる。このようにして第 1 のステアリングミラー 24 は、樹脂の層 34 内で加工されている 3D 構造の x 軸寸法の調節を補助する。

【0029】

第 1 のリレー 26 は、事実上、ビームレット 36A～36D を第 2 のステアリングミラー 28 の上にフォーカスさせる光学レンズリレー (optical lens relay) である。更に、以下に記載のように、第 1 のリレー 26 はビームレット 36A～36D を集束レンズ 32 の瞳孔との配列を補助する。

10

【0030】

第 2 のステアリングミラー 28 は、ビーム 36A～36D の伝搬の角度を調節する電気的に制御可能なミラーである。第 2 のステアリングミラー 28 は、樹脂の層 34 に対してビームレット 36A～36D を配列させるためにビームレット 36A～36D の y 軸位置を調節するため、y 軸で回転するように構成される。第 2 のステアリングミラー 28 はビームレット 36A～36D を y 軸方向に走査して、各ビームレット 36A～36D の焦点の y 軸位置を変化させる。このようにして、第 1 のステアリングミラー 28 は、樹脂の層 34 内で加工されている 3D 構造の y 軸寸法の調節を補助する。

20

【0031】

第 1 のステアリングミラー 24 及び第 2 のステアリングミラー 28 は、ビームレット 36A～36D が小角度で傾くことを可能にする。第 1 のステアリングミラー 24 及び第 2 のステアリングミラー 28 は共に、ビームレット 36A～36D の傾斜角を正確且つ精密に制御するためにコンピュータ制御されてもよく、これによりビームレット 36A～36D の位置を比較的わずかに調節することが可能となる。このように、ボクセルの x 軸位置及び y 軸位置を比較的わずかに調節することができるので、第 1 のステアリングミラー 24 及び第 2 のステアリングミラー 28 はマイクロ加工及びナノ加工に有用である。代替的実施形態において、検流計をステアリングミラー 24 及び / 又はステアリングミラー 28 の代用としてもよい。しかしながら、小角度の傾きを得るのにステアリングミラー 24 及び 28 は通常、より有用である。一実施形態において、z 軸テレスコープ 22、第 1 のステアリングミラー 24、及び第 2 のステアリングミラー 28 を制御するために、ウェーブランナー (WAVERUNNER) 制御ソフトウェア (ニューハンプシャー州ウィンダム (Windham, New Hampshire) のナットフィールド・テクノロジー (Nutfield Technology) より入手可能) を使用してもよい。加えて、樹脂像面の層 34 の誤差を低減するために、z 軸テレスコープ 22、第 1 のステアリングミラー 24、及び第 2 のステアリングミラー 28 の前に現れるビームレット 36A～36D 指示誤差を修正するために、テキサス州オースティン (Austin, Texas) のナショナル・インスツルメント社 (National Instruments Corporation) から入手可能な N エルックアウト (NI LOOKOUT) のような制御システムを使用してもよい。

30

【0032】

ビームレット 36A～36D は第 2 のステアリングミラー 28 に反射して第 2 のリレー 30 に入る。一実施形態において、第 1 のリレー 26 及び第 2 のリレー 30 は実質的に同一である。第 1 のリレー 26 及び第 2 のリレー 30 は、事実上、ビームレット 36A～36D を集束正レンズ (focusing positive lens) 32 (「対物レンズ」と称されてもよい) の瞳孔に配列させるのを補助する光学レンズリレーである。通常、変形を回避するために、ビームレット 36A～36D を集束レンズ 32 の瞳孔と配列させることが望ましい。ビームレット 36A～36D を集束レンズ 32 の瞳孔と配列させることにより、集束レンズ 32 の開口数 (NA : numerical aperture) が実質的に維持される。一実施形態において、集束レンズ 32 の NA は約 0.5～約 1.5 である。NA は一般に特定の対象物又は像点 (例えば、樹脂 34) に対して測定される。集束レンズ 32 の NA は各ビームレット

40

50

36A～36Dのスポットサイズと関連しており、図3Dを参照して以下に記載されるように、各ビームレット36A～36Dによって形成されるボクセルの寸法に影響を与える。第1のリレー26及び/又は第2のリレー30はまた、ビームレット36A～36Dを拡大又は縮小してもよい。

【0033】

集束レンズ32は、油浸対物レンズのような液浸対物レンズ、及び屈折率整合流体を含んでもよい。液浸対物レンズは、ビームレット36A～36Dから球面収差を除去するために含まれてもよい。集束レンズ32は、閾値強度を達成してビームレット36A～36Dの少なくとも閾値強度を呈する部分に暴露される樹脂の層34の領域を硬化するために、各ビームレット36A～36Dを樹脂の層34の中にしっかりとフォーカスする。横方向にずれた（即ち、x方向にずれた）4つのビームレット36A～36Dは樹脂の層34に向けられるので、樹脂34の4つの異なる領域が実質的に同時に硬化され得る。

【0034】

図3Aは、樹脂34のx-y平面にほぼ平行なx-y平面に位置する集束レンズ32の視野50の略図を示している。視野50は、集束レンズ32がビームレット36A～36Dをフォーカスしてもよい領域を表わす。視野50の中にはサブフィールド52、54、56、及び58がある（鎖線）。サブフィールド52、54、56、及び58はそれぞれ、フォーカスされた個々のビームレット36A、36B、36C、及び36Dがx軸方向及びy軸方向にそれぞれ走査される樹脂の層34の領域を画定する。サブフィールド52、54、56、及び58はこのように、各ビームレット36A～36Dによって硬化されてもよい樹脂の層34の個々の領域を画定する。しかしながら、いくつかの実施形態において、サブフィールド52、54、56、及び58は重なり合ってもよい。一実施形態において、各ビームレット36A～36Dのx-y軸走査を制御するのを補助するために、各サブフィールド52、54、56、及び58にはx-y軸座標系を設定することが可能である。例えば、各ビームレット36A～36Dの焦点のx座標及び/又はy座標（即ち、ビームレット36A～36Dの、樹脂34を硬化するのに十分な強度を有する領域）は、樹脂の層34を選択的に硬化し、例えば、3D構造を作り出すことのできるボクセルを加工するために、対応するサブフィールド52、54、56、及び58の中で各座標系を用いて制御される。上述したように、テレスコープ22はビームレット36A～36Dの焦点のz軸位置を調節する。

【0035】

各ビームレット36A～36Dは異なるサブフィールド52、54、56又は58に向けられるので、各ビームレット36A～36Dは樹脂34の異なる領域をフォーカスして硬化し、これにより光学13が3D構造を4つまで同時に加工することが可能となる。一実施形態において、1つのビームレット36A、36B、36C又は36Dはサブフィールド52、54、56又は58のうち1つの内部をフォーカスするので、サブフィールド40毎に1つの構造を生成することが可能である。例えば、図3Aが示すように、ビームレット36Aはサブフィールド52内の樹脂34を硬化して構造53を加工し（図3Aに概略的に示されている）、ビームレット36Bはサブフィールド54内の樹脂34を硬化して構造55を加工し（図3Aに概略的に示されている）、ビームレット36Cはサブフィールド56内の樹脂34を硬化して構造57を加工し（概略的に示されている）、ビームレット36Dはサブフィールド58内の樹脂34を硬化して構造59を加工する（概略的に示されている）。言うまでもなく、所望であれば、複数の構造が1つ以上のサブフィールド52、54、56又は58に生成されてもよい。更に、視野50は、光学システム13が加工する構造の数に応じて任意の好適な数のサブフィールドを画定してもよい。例えば、図3Aに示されるように、サブフィールド52、54、56、及び58の数は、加工するために光学システム13が使用される構造53、55、57、及び59の数に正比例してもよい。しかしながら、いくつかの実施形態ではこのような比例は存在しない。

【0036】

複数の構造53、55、57、及び59を同時に加工することに加えて、光学システム

10

20

30

40

50

13は、実質的に同一構造53、55、57、及び59を同時に加工するために使用されてもよい。上記のように、ビームレット36A～36Dは実質的に同一である（例えば、それぞれが実質的に同様のエネルギー及び光路長を呈する）。従って、ボクセルを生成する各構造53、55、57、及び59の寸法は実質的に同一である。複数の実質的に同一の構造（例えば、53、55、57、及び59）を同時に加工する光学システム13の能力は、3Dミクロ構造及び/又はナノ構造の大量生産にとって商業的に重要である可能性がある。

【0037】

一実施形態において、視野50のx-y平面は、光学システム13の正確性及び精密性を維持するために樹脂の層34のx-y平面と実質的に並行であるのが好ましい。図3Bは、視野50並びにサブフィールド52、54、56、及び58、加えてずれた視野50'（鎖線）並びにサブフィールド52'、54'、56'及び58'（鎖線）を示しており、これは樹脂の層34と視野50が実質的に並行（例えば、両方がx-y平面にある）でない場合に生じる可能性がある。

10

【0038】

図3Bのように、ずれたサブフィールド52'、54'、56'及び58'は、樹脂の層34の、サブフィールド52、54、56、及び58と異なる領域と配列される場合があり、これにより、ビームレット36A～36Dによって硬化が可能な樹脂の層34の全領域が事実上狭くなる場合がある。例えば、図3Bに描かれているような状況の場合、ずれたサブフィールド52'、54'、56'及び58'はy軸方向にシフトされている。もし樹脂の層34が、サブフィールド52'、54'、56'及び58'のシフト量だけy軸方向に伸びていない場合は、サブフィールド52'、54'、56'及び58'の一部が樹脂の層34の外に位置する場合がある。更に、ビームレット36A～36Dはサブフィールド52'、54'、56'及び58'と正しく配列されない場合があり、その結果ビームレット36A～36Dはサブフィールド52'、54'、56'及び58'の外側を走査する場合がある。加えて、ずれたサブフィールド52'、54'、56'及び58'はサブフィールド52、54、56、及び58と比べて少ない領域を有し、従ってビームレット36A～36Dがx-y平面で走査され得る領域を制限する。

20

【0039】

光学13は、集束レンズ32の視野50が大きいほどより多くのサブフィールドを支持することができ、ひいては光学13が同時に加工できる3D構造の数が多くなる。図3Aには、集束レンズ32の視野50が4つのサブフィールド52、54、56、及び58の線状アレイを含んで示されているが、視野50は任意の好適な配列の任意の数のサブフィールドを有してもよい。更に、代替的実施形態において、サブフィールド52、54、56、及び58は重なり合ってもよい。図3Cは視野60の代替的実施形態であり、複数の横列及び縦列を備える2Dアレイに配列された複数のサブフィールド62を有する。

30

【0040】

一実施形態において、集束レンズ32はニコンCFIプランフルロ（Nikon CFI Plan Fluro）20X対物レンズであり、前記製品は日本、東京のニコン（Nikon Corporation）より入手可能である。ニコン20Xマルチ（Nikon 20X Multi）液浸対物レンズの開口数は0.75、視野は1.1ミリメートル（mm）であり、それぞれが直径60μmのサブフィールドを少なくとも128有することが可能である。図1Bの光学システム13は共焦点中間面位置決めシステム（confocal interface locator system）を更に備えてもよく、前記システムは、樹脂の層34と、上に樹脂の層34が配置される基材との間の中間面を位置決めする及び/又は追跡するために使用されてもよい。好適な共焦点中間面位置決めシステムの例は、すでに参照により組み込まれた米国特許出願第60/752,529号、名称「多光子硬化性光反応性組成物の加工方法及び装置」に記載されている。

40

【0041】

一実施形態において、樹脂の層34は、湾曲がサブフィールド52、54、56、及び58にわたって実質的に平らであれば曲線形状（例えば、円筒形の像面）を有していても

50

よい。図3Aに示されるような一次元のアレイは円筒形の像面に書くのに有用であり得る。

【0042】

図3Dは、樹脂の層34の中の各ビームレット36A～36Dの焦点の強度と、それぞれのビームレット36A～36Dによって形成されたボクセルの寸法との関係を示すグラフであり、樹脂の層34のx-y平面は視野50(図3A)にわたって実質的に平らであると仮定する。線70は、図3Aのサブフィールド52内のビームレット36Aの焦点に対応し、線72は、サブフィールド54内のビームレット36Bの焦点に対応し、線74は、サブフィールド56内のビームレット36Cの焦点に対応し、線76は、サブフィールド58内のビームレット36Dの焦点に対応している。線70及び線76が示すように、ビームレット36Aとビームレット36Dの焦点がそれぞれ閾値強度78にある場合、ボクセルの寸法80及び82(図3Dのx軸に沿っている)は実質的に等しい。閾値強度78は、樹脂の層34の領域を硬化するのに必要な最小強度レベルである。従って、ビームレット36Bの焦点が(線72で示されているように)閾値強度78より低い場合、樹脂34による光子吸収を開始するのに必要な強度が不十分であるため、樹脂の層34はビームレット36Bによって硬化しない。

【0043】

ビームレット36Cの焦点の強度が閾値強度78よりも大きい場合、閾値強度78での又は閾値強度78より上のビームレット36Cの焦点の幅はビームレット36A及び36Dの焦点の幅より小さいので、ビームレット36Cによって樹脂の層34で形成されるボクセルの寸法84は、ビームレット36A及び36Dによってそれぞれ形成されるボクセルの寸法80及び82よりも大きい。複数の構造(例えば、構造53、55、57、及び59(図3Aに図示))を同時に形成する場合、不均一な寸法のボクセル80、82、及び84を有するは望ましくない場合がある。従って、各ビームレット36A～36Dの焦点が閾値強度78と実質的に等しいことが望ましい。言うまでもなく、いくつかの実施形態では、不均一な寸法のボクセル80、82、及び84を同時に加工することが望ましい場合がある。

【0044】

樹脂の層34内の各ビームレット36A～36Dの焦点の寸法及び位置はまた、各ビームレット36A～36Dによって硬化される樹脂の層34内の樹脂の量、ひいては各ビームレット36A～36Dによって形成されるボクセルの寸法にも影響を及ぼす。実質的に等しい寸法のボクセルが望ましい場合は、樹脂の層34のx-y平面が実質的に平らであることが望ましい場合がある。樹脂の層34の(図3Eに示すようなx-y平面内の)上面34Aが「波」又はその他の表面変形を有する場合、各ビームレット36A～36Dの焦点が対応するサブフィールド52、54、56、及び58内で異なる可能性がある。従って、いくつかの実施形態において、実質的に同じx-y平面にボクセルを加工するためには実質的に平らな樹脂の層34が望ましい場合がある。樹脂の層34の上面34Aは、樹脂の層34の集束レンズ32に最も近い表面である。

【0045】

図3Eは上面34Aを含む樹脂の層34の概略断面図であり、それぞれが樹脂の層34内をフォーカスしているビームレット36A～36Dを示している。具体的には、ビームレット36Aの焦点86(即ち、樹脂34を硬化するのに十分な強度を有するビームレット36Aの一部)はサブフィールド52内(鎖線内)をフォーカスし、ビームレット36Bの焦点88はサブフィールド54内(鎖線内)をフォーカスし、ビームレット36Cの焦点90はサブフィールド56内(鎖線内)をフォーカスし、ビームレット36Bの焦点92はサブフィールド58内(鎖線内)をフォーカスする。樹脂の層34の上面34が平坦であれば、ビームレット36A～36Dの各焦点86、88、90、及び92は、それぞれ実質的に同一のz軸座標及び実質的に同一強度を有する。しかしながら、樹脂の層34が平坦でない上面34A'を有する場合、樹脂の層34の上部34A'は異なるz軸座標を有し、これはビームレット36A～36Dの焦点86、88、90、及び92が樹脂

10

20

30

40

50

の層 3 4 に接触して硬化する能力に影響を及ぼす場合がある。例えば、図 3 E の例示的実施形態では、最上層 3 4 A' が焦点 8 6 の下にあるので、ビームレット 3 6 A の焦点 8 6 は樹脂の層 3 4 に接触していない。しかしながら、ビームレット 3 6 B の焦点 8 8 及びビームレット 3 6 C の焦点 9 0 はそれぞれ樹脂の層 3 4 の領域に接触して硬化し、実質的に同様の z 軸座標を有するボクセルを形成する。

【 0 0 4 6 】

一実施形態において、集束レンズ 3 2 は、ビームレット 3 6 A ~ 3 6 D の焦点を調節するのを補助する樹脂の層 3 4 内のわずかな変化（例えば、不均一な部分）を補償するためにオートフォーカス特性を有してもよい。

【 0 0 4 7 】

図 4 は、図 1 B の光学暴露システム 1 3 に組み込まれてもよいビームスプリッタ装置 1 0 0 の斜視図である。図 5 A 及び図 5 B を参照して更に記載されるように、ビームスプリッタ装置 1 0 0 は、入射光ビーム（例えば、図 1 B のレーザビーム 3 6 ）又は別の種類の放射エネルギー ビームを受け取り、入射光ビームを、実質的に等しいエネルギー及び光路長を有する複数のビームレット（例えば、図 1 B のビームレット 3 6 A ~ 3 6 D ）に分割するように構成される。ビームスプリッタ装置 1 0 0（例えば、ビームスプリッタ装置 1 0 2 及び以下に記載の複数のプリズム）の光学部品の製造上の許容誤差に起因して、ビームレット間のエネルギー及び光路長はいくぶん異なってもよい。このように、語句「実質的に等しい」は、ビームレットのエネルギー及び光路長を表現するために使用される。ビームスプリッタ装置 1 0 0 はレーザビームに関して以下に記載されているが、ビームスプリッタ装置 1 0 0 はまた他の種類の光ビームを複数のビームレットに分割してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 8 】

ビームスプリッタ装置 1 0 0 は、立方体ビームスプリッタ 1 0 2 並びに立方体プリズム 1 0 4（鎖線）、1 0 6（鎖線）、1 0 8（鎖線）、1 1 0（鎖線）、1 1 2、及び 1 1 4 を備える。ビームスプリッタ 1 0 2 並びにプリズム 1 0 4、1 0 6、1 0 8、1 1 0、1 1 2、及び 1 1 4 は、溶融石英のような任意の好適な光学材料で作ることが可能である。プリズム 1 0 4、1 0 6、1 0 8、1 1 0、1 1 2、及び 1 1 4 はビームスプリッタ 1 0 2 と光学的に接觸している。即ち、光線は、実質的な障害なく、ビームスプリッタ 1 0 2 からプリズム 1 0 4、1 0 6、1 0 8、1 1 0、1 1 2、及び 1 1 4 のそれぞれへと通過する。図 4 のビームスプリッタ装置 1 0 0 の実施形態では、プリズム 1 0 4、1 0 6、1 0 8、1 1 0、1 1 2、及び 1 1 4 はビームスプリッタ 1 0 2 に当接しているが、代替的実施形態において、プリズム 1 0 4、1 0 6、1 0 8、1 1 0、1 1 2、及び 1 1 4 は光学的に接觸した状態でビームスプリッタ 1 0 2 から離されてもよい。

【 0 0 4 9 】

立方体ビームスプリッタ 1 0 2 は、レーザビーム又はビームレットを実質的に等しいエネルギーを呈する 2 つのビームレットに分割する光学装置であり、50% エネルギービームスプリッタであってもよい。図 4 に示される実施形態において、立方体ビームスプリッタ 1 0 2 は、継ぎ目 1 2 0 に沿って取り付けられた 2 つの三角形のガラスプリズム 1 1 6 及び 1 1 8 で構成される。三角形のガラスプリズム 1 1 6 及び 1 1 8 は、カナダバルサムのような任意の好適な取り付け手段を用いて取り付けられてもよい。レーザビーム又はビームレットが継ぎ目 1 2 0 を通る時、ビームは 2 つ以上のビームレットに分割される。従って、継ぎ目 1 2 0 はまた、立方体ビームスプリッタ 1 0 2 の「分割部分（splitter portion）」と呼ばれてもよい。

【 0 0 5 0 】

立方体ビームスプリッタ 1 0 2 は、立方形であり、側面 1 0 2 A（鎖線）、1 0 2 B（鎖線）、1 0 2 C、1 0 2 D、1 0 2 E、及び 1 0 2 F を有し、レーザビーム又はビームレットが光路に実質的な障害がなく側面 1 0 2 A ~ 1 0 2 F を通過できるように、前記側面は全て実質的に無反射である。ビームスプリッタ 1 0 2 の側面 1 0 2 A は側面 1 0 2 B 及び 1 0 2 D とほぼ垂直であり、側面 1 0 2 B は側面 1 0 2 A 及び 1 0 2 C とほぼ垂直であり、側面 1 0 2 C は側面 1 0 2 B 及び 1 0 2 D とほぼ垂直であり、側面 1 0 2 D は側面

102A及び102Cとほぼ垂直である。側面102E及び102Fは互いにほぼ平行であり、側面102A～102Dとほぼ垂直である。ビームスプリッタ102の側面102A～102Fの長さはほぼ等しい(x-z平面で測定)。ビームスプリッタ装置100の説明を補助する目的でx-y-z軸が図4に示されているが、本発明の範囲をいかなる意味においても限定することを意図していない。x-y-z軸は図1Bに示されているx-y-z軸に対応している。代替的実施形態において、実質的に等しい長さの側面を有するビームスプリッタをビームスプリッタ102の代用としてもよい。

【0051】

プリズム104、106、108、110、112、及び114はコーナーキューブ・プリズムであり、図4の実施形態では実質的に同様の寸法を有している。プリズム104及び106はビームスプリッタ102の第1の側面102Aに沿って配置され、プリズム108及び110はビームスプリッタ102の第2の側面102Bに沿って配置され、プリズム112はビームスプリッタ102の第3の側面102Cに沿って配置され、プリズム114はビームスプリッタ102の第4の側面102Dに沿って配置される。プリズム104、106、108、110、112、及び114の間の相対位置/相対距離は、図5Bを参照して説明される。図4の実施形態において、プリズム104、106、108、110、112、及び114は同一材料から作られ、従って実質的に同様の屈折率を有する。代替的実施形態において、プリズム104、106、108、110、112、及び114は異なる材料から作られてもよい。光ビーム(又はビームレット)の進行方向によって、立方体ビームスプリッタ102と1つ以上のプリズム104、106、108、110、112、及び114との間を進む光ビームが、立方体ビームスプリッタ102に反射して戻るのを又はそれぞのプリズム104、106、108、110、112、及び114に反射して戻るのを防ぐために、プリズム104、106、108、110、112、及び114と立方体ビームスプリッタ102との間に屈折率整合流体を配置してもよい。

10

20

20

30

40

50

【0052】

図5A及び図5Bはそれぞれ、ビームを複数のビームレットに分割するためのビームスプリッタシステム150及びビームスプリッタ装置100の概略図である。システム150は、ビームスプリッタ装置100(図4の線5-5に沿った断面として示されている)と、レーザビーム源152と、フォーカシング部153とを備え、フォーカシング部153は、ミラー154及び156と、三角形のプリズム158、160、162、及び164とを備える。レーザビーム源152はレーザビームの任意の光源であってもよく、例えば、図1Bのレーザビーム源14であってもよく、又は図1Bのミラー17に反射するレーザビーム36を表してもよい。

【0053】

ビームスプリッタシステム150において、レーザビーム165はレーザビーム源152から放射され、ビームスプリッタ装置100の立方体ビームスプリッタ102の点151に向けられる。以下により詳細に記載されるように、レーザビーム165がビームスプリッタ装置100を通った後、レーザビーム165は16のビームレット220～235に分割され、フォーカシング部153がそれらをビームレットの線状アレイ166に配列する。言うまでもなく、代替的実施形態において、ビームスプリッタ装置100は、レーザビーム165をより多くの又は少ない数のビームレット、例えば何百又は何千のビームレットに分割するように適合させることが可能である。

【0054】

一実施形態において、レーザビーム165は、ビーム165が立方体ビームスプリッタ102の側面102Aにほぼ垂直になるようにビームスプリッタ102に向けられる。即ち、入射レーザビーム165と、レーザビーム16が最初に接触する立方体ビームスプリッタ102の表面との角度は約90°である。角度が90°よりも大きい又は小さい場合、レーザビーム165から形成されたビームレット220～235は横方向にずれる場合がある(即ち、x-z平面でずれる)。角度と90°との差は「入射角」と呼ばれ

てもよい。横変位 D は小角度用の次の等式に従って概算されてもよい。

【0055】

$$D = t * I * ((N - 1) / N)$$

式中、t は、1つのビームレットがビームスプリッタ装置 100 を通る全光路であり、I は、レーザビーム 165 の入射角であり、N は、立方体ビームスプリッタ 102 並びにプリズム 104、106、108、110、112、及び 114 が製造される材料（例えば、ガラス）の屈折率である。例えば、入射角 I が約 1°（又は約 0.01745 ラジアン）の場合、t は約 224 mm であり、N は 1.5 であり、ビームスプリッタ装置 100 を出射するビームレット 220 ~ 235 のそれぞれの横変位 D は直交する出口位置から約 1.33 mm である。

10

【0056】

レーザビーム 165 が基準位置から横方向にシフトされる（即ち、点 151 から z 軸に沿ってシフトされる）場合、ビームスプリッタ装置 100 から出力されるビームレット 220 ~ 235 もまた同じだけ横方向にシフトされる（ビームレット 220 ~ 235 の場合、横方向のシフトは x 軸方向である）。しかしながら、ビームスプリッタ装置 100 は、レーザビーム 165 の入射角にかかわらず、レーザビーム 165 から作られたビームレットのそれぞれがプリズム 104、106、108、110、112、及び 114 の全てを通って線状アレイ 166 となって装置 100 を出射するように構成される。

【0057】

更に、入射レーザビームが直角以外の角度でビームスプリッタ装置 100 に向けられた場合、ビームスプリッタ装置 100 を出射するビームレット 220 ~ 235 は、コリメートされない場合球面収差を呈する場合がある。いくつかの実施形態において、入射角が小さい（例えば、約 1° 以下）の場合、ビームレット 220 ~ 235 に加えられる任意の収差はごくわずかであり得る。更に、ビームスプリッタ装置 100 が図 1B のシステム 13 に用いられる場合、入射する収束ビームの球面収差を低減するために液浸レンズを使用してもよい。

20

【0058】

上記のように、ビームスプリッタ装置 100 は、ビームスプリッタ 102 と複数のプリズム 104、106、108、110、112、及び 114 を備える。プリズム 104、106、108、110、112、及び 114 は、実質的に等しい光路長を得るために、隣接したビームレット 220 ~ 235 の間のピッチ P を維持した状態で互いに対しシフトされる。図 5B に示されるように、距離 D₁ ~ 距離 D₆ は、ビームスプリッタ装置 100 を通って実質的に等しい光路長を通るビームレット 220 ~ 235 を生成するための、プリズム 104、106、108、110、112、及び 114 の間の例示的配列を示し、隣接するビームレット 220 ~ 235 の間のピッチ P は予め定められる。代替的実施形態において、ビームスプリッタ装置 100 を通って実質的に等しい光路長を通るビームレット 220 ~ 235 を得るために、プリズム 104、106、108、110、112、及び 114 は別のやり方で配列されてもよい。

30

【0059】

プリズム 104、106、及び 112 は x 軸方向に沿って配置され（以下、「x 軸プリズム」と言う）、プリズム 108、110、及び 114 は z 軸方向に沿って配置される（以下、「z 軸プリズム」と言う）。x 軸プリズムは互いに動作不能な関係にすらされ、z 軸プリズムは互いに動作不能な関係にすらされる。更に、x 軸プリズム 104、106、及び 112 の距離 D₄ ~ 距離 D₆ は、ビームスプリッタ装置 100 によって生成されるビームレット 220 ~ 235 間の所望のピッチ P に基づいて選択される。

40

【0060】

z 軸プリズム 108、110、及び 114 に関しては、距離 D₁ は、プリズム 108 の中心軸 108A からビームスプリッタ装置 102 の側面 102A まで z 軸方向に測定される。距離 D₂ は、プリズム 114 の 114A からビームスプリッタ装置 100 の側面 102A まで z 軸方向に測定される。距離 D₃ は、プリズム 110 の中心軸 110A からビームスプリ

50

ツタ 100 の側面 102A まで z 軸方向に測定される。距離 D_3 は距離 D_2 よりも大きく、距離 D_2 は D_1 よりも大きい。

【0061】

図 5B の実施形態において、それぞれの距離 D_1 、 D_2 、及び D_3 は次の数式に従って計算される。

【0062】

【数1】

$$Z_n = \sum_{n=1}^{s-1} \frac{n \cdot L}{2}$$

10

【0063】

Z_n は、ビームスプリッタ 102 の側面 102A から、ビームスプリッタ 102 の側面 102A から n 番目の z 軸プリズムの中心軸までの距離であり（例えば、プリズム 108 では $n = 1$ ；プリズム 114 では $n = 2$ ；プリズム 110 では $n = 3$ ）、 L は、ビームスプリッタ 102 に隣接した z 軸プリズムの側面の z 軸寸法であり（例えば、図 5B でプリズム 108 の側面 108B に関して寸法 L で示されている）、 s は入射ビーム 165 が分割される回数に等しい。 Z_n を計算するための上記式は、z 軸プリズムの寸法が全て実質的に同じであり、各 z 軸プリズムの寸法 L は、ビームスプリッタ装置 100 によって生成されるビームレットの総数をビームレット 220 ~ 235 の間のピッチ P で乗じたものより大きいと仮定している。

20

【0064】

x 軸プリズムに関し、距離 D_4 は、プリズム 106 の中心軸 106A からビームスプリッタ 102 の側面 102B まで x 軸方向に測定される。距離 D_5 は、プリズム 112 の中心軸 112A からビームスプリッタ 100 の側面 102B まで x 軸方向に測定される。距離 D_6 は、プリズム 104 の中心軸 104A からビームスプリッタ 100 の側面 102B まで x 軸方向に測定される。距離 D_6 は距離 D_5 よりも大きく、距離 D_5 は距離 D_4 よりも大きい。

30

【0065】

図 5B の実施形態では、距離 D_1 、距離 D_2 、及び距離 D_3 のそれぞれは次の数式に従って計算される。

【0066】

【数2】

$$X_n = \sum_{n=1}^{s-1} \frac{n \cdot M}{2} + P \cdot 2^{(n-2)}$$

40

【0067】

X_n は、ビームスプリッタ 102 の側面 102B からビームスプリッタ 102 の側面 102B から n 番目の x 軸プリズムの中心軸までの距離であり（例えば、プリズム 106 では $n = 1$ ；プリズム 112 では $n = 2$ ；プリズム 104 では $n = 3$ ）、 M は、ビームスプリッタ 102 に隣接した x 軸プリズムの側面の x 軸寸法であり（例えば、図 5B のプリズム 112 では寸法 M ）、 P は（図 5B に示されるように）ビームレット 220 ~ 235 の間のピッチであり、 s は入射ビーム 165 が分割される回数に等しい。ビームレット 220 ~ 235 の間のピッチ P は一般に、隣接するビームレット 220 ~ 235 の間の x - z 平面における間隔である。ピッチ P の許容誤差は一般に、ビームスプリッタ装置 100 の

50

用途によって規定される。例えば、ビームレット 220～235 がマイクロレンズアレイに配列している場合、ピッチ許容誤差はアレイの各マイクロレンズの間の間隔、並びにマイクロレンズの寸法によって規定されてもよい。ビームスプリッタの側面 102A から各 x 軸プリズムの中心までの z 軸距離 Z_n を計算する上記の式と同様に、 X_n を計算するための上記式は、x 軸プリズムの寸法が全て実質的に同じであり、各 z 軸プリズムの寸法 L は、ビームスプリッタ装置 100 によって生成されたビームレットの総数をビームレット 220～235 の間のピッチ P で乗じたものより大きいと仮定している。

【0068】

ビームスプリッタ 102 の側面 102A は、単に z 軸プリズム 108、110、及び 114 の間の間隔を説明するための参照点として用いられており、側面 102B は、単に z 軸プリズム 104、106、及び 112 の間の間隔を説明するための参照点として用いられている。プリズム 104、106、108、110、112、及び 114 の間の間隔はまた、ビームスプリッタ装置 100 の他の部分を参照して、更には互いを参照して説明されてもよいことは理解されるべきである。しかしながら、説明の簡略化のため、本明細書ではビームスプリッタ 102 の側面 102A 及び側面 102B を参照点として用いる。

10

【0069】

図 5B に示されるように、ビームスプリッタシステム 150 は、レーザビーム源 152 から放射される、コリメートされても、収束されても、又は分岐されてもよいレーザビーム 165 を、それぞれが実質的に等しいエネルギーを有してビームスプリッタ装置 100 を通って実質的に等しい光路長を移動する 16 のビームレット 220～235 に変換する。より詳細には、レーザビーム 165 がビームスプリッタ 102 の分割部分 120 の領域 180 を通ると、レーザビーム 165 はビームレット 182 及び 184 に分割される。例えば、ビームスプリッタ 102 が、2 つの三角形のプリズムから作られ、分割部分 120 をカナダバルサムで互いに接着された立方体ビームスプリッタである場合は、分割部分 120 でのバルサムの厚さ T は、特定の波長の光に関して、レーザビーム 165 の半分（即ち、ビームレット 182）は約 90° 反射してプリズム 106 に向かい、レーザビーム 165 の残りの半分（即ち、ビームレット 184）は分割部分 120 を通ってプリズム 108 に向かって透過するように調節されてもよい。

20

【0070】

ビームレット 182 及び 184 が入射レーザビーム 165 で形成された後、ビームレット 182 及び 184 は第 1 のプリズム経路を通る。具体的には、ビームレット 182 はプリズム 106 を通り、ビームレット 184 はプリズム 108 を通る。分割部分 120 のどの領域を通ってレーザビーム 165 がビームレット 182 及び 184 に分割するかにかかわらず、及びビームレット 182 及び 184 がそれぞれプリズム 106 及び 108 のどこに入射するかにかかわらず、この第 1 のプリズム経路では、ビームレット 182 及び 184 はビームスプリッタ 102 並びにプリズム 106 及び 108 を通って実質的に等しい光路長をそれぞれ移動する。実質的に等しい光路長は多くの要因に起因し、該要因には、ビームスプリッタ 102 の等しい長さの側面 102A～102F と、実質的に等しい寸法のプリズム 106 及び 108 と、それぞれ X_n 及び Z_n を計算するために上記した式に従つて、ビームスプリッタ 102 の側面 102B 及び 102A に対してそれぞれ配置されたプリズム 106 及び 108 を含むビーム分割装置 100 の構成とが挙げられる。

30

【0071】

ビームレット 182 とビームレット 184 との間の実質的に等しい光路長と、同様に他のプリズム経路で形成されたビームレットの実質的に等しい光路長の更なる原因となるのは、各立方体プリズム 104、106、108、110、112、及び 114 の対称性である。入射光ビームは第 1 の点で各立方体プリズム 104、106、108、110、112、及び 114 に入射し、第 2 の点で立方体プリズム 104、106、108、110、112、及び 114 を出射する。第 1 及び第 2 の点は基準点から実質的に等距離である。例えば、立方体プリズム 106 では、基準点は頂点 106D である。ビームレット 182 を説明の例にとると、ビームレット 182 は点 183A で立方体プリズム 106 に入射

40

50

し、点 183B で出射する。点 183A 及び 183B は、立方体プリズム 106 の頂点 106D から実質的に等距離である。同様の基準点をプリズム 106、108、110、112、及び 114 について見出すことができる。

【0072】

代替的実施形態において、実質的に等しい光路長を有するのではなく、立方体ビームスプリッタ 102 の寸法を調節することにより（即ち、ビームスプリッタ 102 の代わりに等しくない側面を有するビームスプリッタを用いる）、コーナーキューブ・プリズム 104、106、108、110、112、及び 114 の相対寸法を調節することにより、又は立方体ビームスプリッタ 102 と少なくとも 1 つのコーナーキューブ 104、106、108、110、112 又は 114 との間の相対間隔（例えば、立方体ビームスプリッタ 102 の表面 102B とプリズム 108 の表面 108B との間の相対間隔）を調節することにより、プリズム経路のそれぞれにおけるビームレット間の所定の経路差を取り入れてもよい。

10

【0073】

プリズム 106 及び 108 を出射した後、ビームレット 182 及び 184 はビームスプリッタ 102 の分割部分 120 の領域 186 をそれぞれ通り、これにより 4 つのビームレット 188、190、192、及び 194 に分割される。その後、ビームレット 188、190、192、及び 194 は第 2 のプリズム経路を通る。第 2 のプリズム経路において、ビームレット 188 及び 190 は分割部分 120 から約 90° 反射してプリズム 112 に向かい、ビームレット 192 及び 194 は分割部分 120 を透過してプリズム 114 に向かう。再度、プリズム 112 及び 114 の配列に起因して及びプリズム 112 及び 114 の寸法が実質的に同様であることに起因して、ビームレット 188、190、192、及び 194 は、それぞれのプリズム 112 及び 114 を通って実質的に等しい光路長を移動する。

20

【0074】

それぞれのプリズム 112 及び 114 を出射する際、ビームレット 188、190、192、及び 194 はビームスプリッタ 102 の分割部分 120 の領域 196 を通って 8 つのビームレット 200～207 に分割される。具体的には、ビームレット 188 はビームレット 200 及び 201 に分割され、ビームレット 190 はビームレット 202 及び 203 に分割され、ビームレット 192 はビームレット 204 及び 205 に分割され、ビームレット 194 はビームレット 206 及び 207 に分割される。第 3 のプリズム経路では、ビームレット 200、202、204、及び 206 はプリズム 110 を順次通り、ビームレット 201、203、205、及び 207 はプリズム 114 を順次通る。上記のプリズム経路と同様に、第 3 のプリズム経路では、ビームレット 200～207 はビームスプリッタ装置 100 を通って実質的に等しい光路長を移動する。

30

【0075】

それぞれのプリズム 110 及び 114 を通過した後、ビームレット 200～207 は再度ビームスプリッタ 102 の分割部分 120 を通って全部で 16 のビームレット 220～235 に更に分割される。具体的には、ビームレット 200 はビームレット 220 及び 221 に分割され、ビームレット 201 はビームレット 222 及び 223 に分割され、ビームレット 202 はビームレット 224 及び 225 に分割され、ビームレット 203 はビームレット 226 及び 227 に分割され、ビームレット 204 はビームレット 228 及び 229 に分割され、ビームレット 205 はビームレット 230 及び 231 に分割され、ビームレット 206 はビームレット 232 及び 233 に分割され、ビームレット 207 はビームレット 234 及び 235 に分割される。

40

【0076】

フォーカシング部 153（図 5A に図示）はビームレット 220～235 をビームレットのアレイに再結合させる。ビームレット 220～235 をアレイ 166 に再配列することは、ビームスプリッタ装置 100 のいくつかの用途において望ましい場合がある。例えば、ビームスプリッタ装置 100 が図 1B の光学システム 13 に組み込まれた場合、ビー

50

ムレット 220～235 はマイクロレンズアレイ（例えば、図 1B のマイクロレンズアレイ 21）のマイクロレンズと配列するような配列が可能である。

【0077】

上記のように、フォーカシング部 153 は、ミラー 154 及び 156 並びに三角形のプリズム 158、160、162、及び 164 を備える。ミラー 154 は、ビームレット 220、222、224、226、228、230、232、及び 234 の方向を x-z 平面で調節する。ビームレット 220、222、224、226、228、230、232、及び 234 は、ビームレット 220、222、224、226、228、230、232、及び 234 をプリズム 160 に向けて新たに約 90° 方向づける移動プリズム 158 を順次通る。ミラー 156 は、x-z 平面のビームレット 221、223、225、227、229、231、233、及び 235 の方向を調節し、ビームレット 221、223、225、227、229、231、233、及び 235 をプリズム 164 に向ける。ビームレット 221、223、225、227、229、231、233、及び 235 は、ビームレット 221、223、225、227、229、231、233、及び 235 を約 90° 反射してプリズム 162 に向ける移動プリズム 164 を順次通る。ビームレット 220～235 が、対応するプリズム 160 及び 162 を通過する際に、ビームレット 220～235 がそれぞれ約 90° 旋回し、互いにほぼ隣接して配列されてビームレットの線状アレイ 166 となるように、プリズム 160 及び 162 は互いに隣接して配置される。

【0078】

代替的実施形態においてフォーカシング部 153 は、ビームレット 220～235 をビームレットのアレイに配列するための他の構成及び構成要素を備えてよい。更に、ビームスプリッタ装置 100 は、ビームレット 220～235 を 2D アレイのような線状アレイ以外の配列（例えば、矩形アレイ）に配列させるために使用することが可能である。2D アレイを得るために、x 軸プリズム 104、106、及び 112 は y 軸方向（像面に垂直）にずらすことが可能である。あるいは、フォーカシング部 153 は、ビームレット 220～235 を 2D アレイに配列するように構成された光学部品（例えば、ミラー及び／又はプリズム）を備える。

【0079】

図 5B の実施形態ではビームレット 220～235 は同位相であるが、代替的実施形態においてビームレット 220～235 は同位相ではない。これは、例えば、フォーカシング部 153 の他の外部光学系及び他の構成によって達成されてもよい。

【0080】

ピッチ P_1 はまた、ビームレット 188 とビームレット 190 との間、並びにビームレット 192 とビームレット 194 との間のピッチと等しい。一実施形態において、距離 D_7 は約 2 分の 1 ピッチ P_1 （即ち、 $(1/2)P_1$ ）と実質的に等しい。ピッチ P_1 を変えるために、距離 D_1 及び距離 D_4 を互いにに対して変化させてもよい。第 1 の対であるビームレット 200 及び 202 と第 2 の対であるビームレット 204 及び 206 との間の横方向の間隔であるピッチ P_{2A} を変えるため、距離 D_2 及び距離 D_5 を互いにに対して調節してもよい。第 1 の対であるビームレット 201 及び 203 と第 2 の対であるビームレット 205 及び 207 との間のピッチ P_{2B} を変えるために、距離 D_2 及び距離 D_5 もまた互いにに対して調節されてもよい。距離 D_3 及び距離 D_6 もまた、第 1 の 4 つ組であるビームレット 221、223、225、及び 227 と第 2 の 4 つ組であるビームレット 229、231、233、及び 235 との間のピッチ P_{3A} を変えるために互いにに対して調節されてもよい。距離 D_3 及び距離 D_6 の調節はまた、第 1 の 4 つ組であるビームレット 220、222、224、及び 226 と第 2 の 4 つ組であるビームレット 228、230、232、及び 234 との間のピッチ P_{3B} も変化させる。図 5B の実施形態において、ピッチ P 、 P_1 、 P_{2A} 、 P_{2B} 、 P_{3A} 、 P_{3B} は実質的に等しい。図 5B の実施形態において、距離 D_8 は約 1.5 P に実質的に等しい。

【0081】

10

20

30

40

50

連続したプリズム経路内のプリズムの間の距離と、プリズムを順番に通過した後に生成されるビームレットのピッチとの間の例示的関係は、更なるプリズム経路に関して繰り返されてもよい。

【0082】

あるいは、ビームレット220～235の間のピッチPもまた、ビームスプリッタ102の無反射側面102Aとプリズム104及び106との間、ビームスプリッタ102の無反射側面102Bとプリズム108及び110との間、ビームスプリッタ102の無反射側面102Cとプリズム112との間、及びビームスプリッタ102の無反射側面102Dとプリズム114との間に屈折率整合流体の層を配置することによって調節されてもよい。これにより、ビームスプリッタ装置100を取り外すことなくビームレット200～235の間のピッチPを調節することが可能となる。

10

【0083】

アレイ166のビームレット220～235は実質的に平行であり、互いに干渉しないが、測定用途のような一部の用途では、ビームレット220～235の少なくとも2つが干渉することが望ましい場合がある。従って、代替的実施形態において、2つ以上のビームレット220～235の間のピッチは、2つ以上のビームレット220～235が部分的に又は完全に重なり合って干渉を生成するように調節されてもよい。

【0084】

代替的実施形態において、ビームスプリッタ装置100は、入射レーザビーム165をより少ない数の又はより多くの数のビームレットに分割するために、より少ない数の又はより多くの数のプリズム104、106、108、110、112、及び114を備えてよい。ビームスプリッタ装置100を用いて、 2^n のビームレットを有する2Dアレイを形成することが可能で、その際nは、入射レーザビーム165がビームスプリッタ102の分割部分120を通る回数に等しい。偶数のビームレットを得るためにには(2^*n)-2個のプリズムが必要である。従って、32のビームレットが望ましい場合、ビームスプリッタ装置は8個のプリズムを備える。即ち：

$$32 \text{ ビームレット} = 2^n = 2^5 \quad (\text{従って、} n = 5)$$

$$\text{必要なプリズムの数} = (2^*n) - 2 = (2^*5) - 2 = 8$$

ビームスプリッタ装置100に更なるプリズムが追加される場合、x軸プリズムの間隔は上記の X_n を計算するための数式に従ってあけることが可能で、z軸プリズムの間隔は上記の Z_n を計算するための数式に従ってあけることが可能である。

20

【0085】

図4～図5Bの実施形態には立方体プリズムが示されているが、別の実施形態では他の種類のプリズムを立方体プリズム104、106、108、110、112、及び114の代用としてもよい。広くは、好適なプリズムにおいて、入射光ビームは第1の点でプリズムに入射して第2の点でプリズムを出射し、第1の点及び第2の点は基準点から実質的に等距離である。例えば、立方体プリズム104では、基準点は104Aである。ビームレット201を説明の例にとると、ビームレット201は点240でプリズム104に入射して点242で出射する。点240及び点242はプリズム104の点104Aから実質的に等距離である。この特徴を有する他の好適なプリズムにはペンタプリズム(図6に図示)又はポロプリズムが挙げられるが、これらに限定されない。

30

【0086】

図6は、3つのビームスプリッタ302、304、及び306、及びビームスプリッタ302、304、及び306の周りに配置された4つのペンタプリズム308、310、312、及び314を有する、本発明の別の実施形態によるビームスプリッタ装置300を示している。一実施形態において、ビームスプリッタ302、304、及び306は互いに同一であり、それぞれが図4～図5Bのビームスプリッタ装置100の50%エネルギーの立方体ビームスプリッタ102と同様であってもよい。代替的実施形態において、ビームスプリッタ302、304、及び306は、実質的に等しい長さの側面(x-z平面で測定)を有する任意の別の種類のビームスプリッタであってもよい。例えば、図6の

40

50

実施形態において、ビームスプリッタ 302 の側面 302A、302B、302C、及び 302D の長さは実質的に等しく、ビームスプリッタ 304 の側面 304A、304B、304C、及び 304D の長さは実質的に等しく、ビームスプリッタ 306 の側面 306A、306B、306C、及び 306D の長さは実質的に等しい。

【0087】

ビームスプリッタ 302 は、例えば、そこで 2 個の三角形のプリズムが接着されてビームスプリッタ 302 を形成する継ぎ目であってもよい分割部分 316 を有する。同様に、ビームスプリッタ 304 は分割部分 318 を有し、ビームスプリッタ 306 は分割部分 320 を有する。図 6 の実施形態において、ビームスプリッタ 302、304、及び 306 は互いに隣接して配置されるが、分割部分 316、318、及び 320 は x - z 平面において互いにに対してシフトされる。分割部分 316、318、及び 320 の間のシフトは、図 7B を参照して以下に更に詳細に記載されるように、プリズム 308、310、312、及び 314 の間のシフトに起因する。

10

【0088】

ペンタプリズム 308、310、312、及び 314 はそれぞれ五角プリズムである。図 7A 及び図 7B を参照して記載されるように、光線はプリズム 308、310、312 又は 314 の 2 つの側面で反射し、これによりビームを約 90° そらせる。ペンタプリズム 308、310、312、及び 314 は、ビームレットが各プリズム経路において、ビームスプリッタ装置 300 を通って実質的に同様の光路長を通るように立方体プリズム 302、304、及び 306 の周囲に配置される。ペンタプリズム 308、310、312、及び 314 とビームスプリッタ 302、304、及び 306 との間の配列は図 7B を参照して説明される。

20

【0089】

図 7A は、例えば、ビームを複数のビームレットに分割するために、図 1B の光学システム 13 に組み込まれてもよいビームスプリッタシステム 350 の概略図である。システム 350 は、ビームスプリッタ装置 300 (図 6 の線 7-7 に沿った断面として示されている) と、レーザビーム源 352 と、集束レンズ 353 と、液浸レンズ (図示せず) と、フォーカシング部 356 とを備え、フォーカシング部 356 は、第 1 のレンズの組 358 及び 360 と、ミラー 362 及び 364 と、第 2 のレンズの組 366 及び 368 と、三角形のミラー 370 及び 372 と、を備える。図 7A の実施形態において、レーザビーム源 352 は収束レーザビーム 374 を放射する。代替的実施形態において、レーザビーム源 352 は放射エネルギー光ビームの任意の光線源であってもよい。

30

【0090】

ビームスプリッタシステム 350 では、開口数 (NA) が比較的少ない (例えば、約 0.04 以下) 収束レーザビーム 374 がレーザビーム源 352 から放射されて、ビームスプリッタ装置 300 の立方体ビームスプリッタ 302 に向けられる。収束レーザビーム 374 は、1 つのレーザビームに収束するために収束レンズ 353 を通過する複数の収束ビームから構成され、前記複数の収束ビームは最終的には複数のビームレット 400 ~ 407 に分割される。レーザビーム源 352 とビームスプリッタシステム 300 との間の距離に応じて、収束レーザビーム 374 は、ビームスプリッタ装置 300 を出射した後フォーカスされたビームレットに収束する複数の収束ビームレットに分割されてもよい。より詳細には、ビームスプリッタ 302、304、及び 306、並びにペンタプリズム 308、310、312、及び 314 を通った後、レーザビーム 374 は、実質的に等しいエネルギーを呈する 8 つのビームレット 400 ~ 407 に分割される。更に、8 つのビームレットのそれぞれは、ビームスプリッタ装置 300 を通って実質的に等しい経路長を通る。フォーカシング部 356 は、ビームスプリッタ装置 300 から出力されて、フォーカスされたビームレットの線状アレイ 376 に入る、ビームレット 400 ~ 407 を配列する。結果として、ビームレット 400 ~ 407 が光学システム (例えば、図 1B の光学システム 13) に用いられる場合は、ビームレット 400 ~ 407 をフォーカスするためにマイクロレンズアレイを必要としない場合がある。

40

50

【0091】

図7Bに示されるように、レーザビーム374がビームスプリッタ302に向けられた後、レーザビーム374はビームスプリッタ302の分割部分316を通ってビームレット380及び382に分割される。ビームレット380はx-z平面で入射レーザビーム374の方向384から約90°旋回し、一方ビームレット382は、ペンタプリズム312に向かって分割部分316を方向384に通過する。続いて、第1のプリズム経路において、ビームレット380はペンタプリズム308を通過し、ビームレット382はペンタプリズム312を通過する。より詳細には、ビームレット380は側面308Bを通ってプリズム308に入り、ペンタプリズム308の側面308Dに反射し、約45°旋回して側面308Eに反射し、そして側面308Cを通ってプリズム308を出射する。ビームレット382は、側面312Bを通ってプリズム312入り、側面312Dに反射し、約45°旋回して側面312Eに反射し、そして側面312Cを通ってプリズム312を出射する。

10

【0092】

立方体プリズム104、106、108、110、112、及び114と同様に、入射光ビームは第1の点でペンタプリズム（例えば、ペンタプリズム308、310、312又は314）に入り、その際第1の点及び第2の点は基準点から実質的に等距離である。例えば、ペンタプリズム308では、基準点は頂点308Aである。ビームレット380を説明の例にとると、ビームレット380は点385Aでペンタプリズム308に入り、点385Bで出射する。点385A及び点385Bはペンタプリズム308の頂点308Aから実質的に等距離である。同様の基準点をプリズム310、312、及び314に見い出すことができる。

20

【0093】

プリズム308及び312を出射した後、ビームレット380及び382は、ビームスプリッタ306の分割部分318の領域386をそれぞれ通る。ビームスプリッタ306の分割部分318を通った後、ビームレット380はビームレット388及び390に分割され、ビームレット382はビームレット392及び394に分割される。第2のプリズム経路において、ビームレット388及び392はペンタプリズム310を通過し、一方ビームレット390及び394はペンタプリズム314を通過する。具体的には、ビームレット388及び392はそれぞれ、側面310Bを通ってプリズム310に入り、側面310Dに反射し、約45°旋回し、側面310Eに反射し、側面310Cを通ってプリズム310を出射する。ビームレット390及び394はそれぞれ側面314Bを通ってプリズム314に入り、側面314Dに反射し、約45°旋回し、側面314Eに反射し、側面314Cを通ってプリズム314を出射する。

30

【0094】

それぞれのプリズム310及び314を出射した後、ビームレット388、390、392、及び394はプリズム306の分割部分320の領域396を通り、合計で8つのビームレット400～407に更に分割される。ビームレット388はビームレット400及び401に分割され、ビームレット390はビームレット402及び403に分割され、ビームレット392はビームレット404及び405に分割され、ビームレット394はビームレット406及び407に分割される。

40

【0095】

図7Aに示されるように、フォーカシング部356はビームレット400～407を、例えば、多光子光重合製造プロセス用にマイクロレンズアレイ（例えば、図2のマイクロレンズアレイ21）に組み込まれてもよいアレイ376に配列する。第1のレンズの組358及び360は、ビームレット400～407をコリメートして対応するミラー362及び364上に再度方向づける。具体的には、ビームレット400、402、404、及び406はレンズ358を通り、コリメートされ、ミラー362上に再度方向づけられ、ビームレット401、403、405、及び407はレンズ360を通り、コリメートされ、ミラー360上に再度方向づけられる。ビームレット400、402、404、及び

50

406はミラー362に反射し、ビームレット401、403、405、及び407はミラー364に反射する。ミラー362及びミラー364はそれぞれのビームレット400～407を第2のレンズの組366及び368に向けて反射し、レンズ366及び368はビームレット400～407をフォーカスする。ビームレット400～407はレンズ358及び360によって前にコリメートされているので、ビームレット400～407はフォーカスされる。

【0096】

レンズ366を通った後、ビームレット400、402、404、及び406は三角形のミラー370に反射する。レンズ368を通った後、ビームレット401、403、405、及び407は三角形のミラー372に反射する。ミラー370及び372は互いに隣接して配置され、例えば、ビームレット400～407がそれぞれのミラー370及び372に反射し、ビームレット400～407がそれぞれ約90°旋回し、互いにほぼ隣接して配列されてビームレットの線状アレイ376となる。

10

【0097】

図5Aのビームスプリッタシステム150のフォーカシング部153と同様に、フォーカシング部356は、ビームレット400～407をビームレットのアレイに配列するために他の構成及び構成要素を備えてもよい。例えば、ビームレット400～407を約90°反射するための平面ミラーを三角形のミラー370及び372の代用としてもよい。更に、フォーカシング部356は、ビームレット400～407を他の配列、例えば2Dアレイ又は別の非線状アレイに配列してもよい。

20

【0098】

各プリズム経路のビームレットがビームスプリッタ300を通って実質的に等しい光路長を移動するために、及びビームレット400～407の間の所望のピッチP₄を得るために、ペンタプリズム308、310、312、及び314の間に小さなシフトが存在する。シフトに関しては、ビームスプリッタ302、304、及び306を参照して説明されるのが最も分かりやすい。図6に示されている配列では、ペンタプリズム308の頂点308A及びペンタプリズム312の頂点312Aは配列されていない。その結果、ペンタプリズム312の無反射側面312Bは、ビームスプリッタ302の側面302Bに配列されて隣接し、ペンタプリズム308の無反射側面308Bはビームスプリッタ302の側面302Cに対して距離S₁だけシフトされている。シフト距離S₁はまたペンタプリズム308とペンタプリズム312との間の「シフト距離」と呼ばれてもよい。ペンタプリズム308の無反射側面308C及びビームスプリッタ304の側面304Dもまた互いに配列されて隣接するが、ペンタプリズム312の無反射側面312Cは、ビームスプリッタ304の側面304Aに対してシフト距離S₂だけシフトされる。ビームスプリッタ302及び304の寸法が実質的に等しく、ペンタプリズム308及び312の寸法が実質的に等しいので、距離S₁及び距離S₂は実質的に等しい。距離S₁及び距離S₂は、第1のプリズム通過の後のビームレット388とビームレット392との間の所望のピッチP₃に基づいて選択される。ピッチP₃もまたビームレット390とビームレット394との間のピッチと等しい。一般に、距離S₁及び距離S₂はそれぞれP₃と実質的に等しい。

30

【0099】

ペンタプリズム310及び312もまた互いに対してシフトされる。より詳細には、ペンタプリズム310の頂点310A及びペンタプリズム314の頂点314Aは配列されない。その結果、ペンタプリズム310の無反射側面310Bは、ビームスプリッタ304の側面304Cに配列されて隣接し、ペンタプリズム314の無反射側面314Bは、ビームスプリッタ304の側面304Bに対して距離S₃だけシフトされる。シフト距離S₃もまたペンタプリズム308とペンタプリズム312との間のシフト距離と呼ばれてもよい。ペンタプリズム314の無反射側面314Cとビームスプリッタ306の側面306Aもまた互いに配列されて隣接するが、ペンタプリズム310の無反射側面310Cはビームスプリッタ304の側面304Aに対してシフト距離S₄だけシフトされる。ビ

40

50

ームスプリッタ 304 及び 306 の寸法が実質的に等しく、ペントプリズム 310 及び 314 の寸法が実質的に等しいので、距離 S_3 及び距離 S_4 は実質的に等しい。距離 S_3 及び距離 S_4 は、ビームレット 400、402、404、及び 406 の間の P_3 と P_4 との間の所望の相対ピッチに基づいて選択され、前記距離はまた、ビームレット 401、403、405、及び 407 の間のピッチとも等しい。図 7B の実施形態において、ピッチ P_4 はピッチ P_3 と実質的に等しい。一般に、距離 S_3 及び距離 S_4 はそれぞれ P_4 と実質的に等しい。

【0100】

代替的実施形態において、ビームスプリッタ装置 300 はレーザビーム 374 を 9 つ以上のビームレットに分割してもよい。例えば、ビームレット 400 ~ 407 が通る更なるプリズム経路を追加するために、追加的なビームスプリッタ及びペントプリズム「一組」をフォーカシング部 356 の前に追加してもよい。1 つのビームスプリッタと一組のペントプリズムは 1 つのビームスプリッタであり、1 つのペントプリズムはビームスプリッタに隣接して配置され、1 つのペントプリズムはビームスプリッタに対してシフトされ、シフト距離は一般にプリズム経路を通るビームレットの間のピッチに等しい。例えば、図 7B では、ビームスプリッタ 306 とペントプリズム 310 及び 314 は 1 つのビームスプリッタと一組のペントプリズムを構成する。図 7B の実施形態では、1 つのビームスプリッタと一組のペントプリズムを追加することでビームレットの数を 2 倍に増やしている。

【0101】

本発明の様々な実施形態を記載してきた。これらの及び他の実施形態は、以下の特許請求の範囲に含まれる。

10

20

【図 1A】

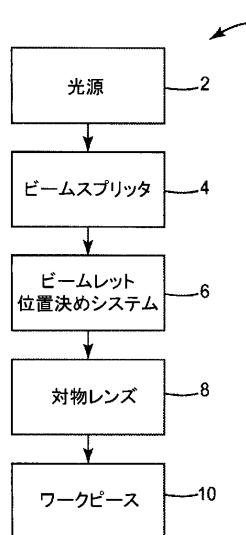


FIG. 1A

【図 1B】

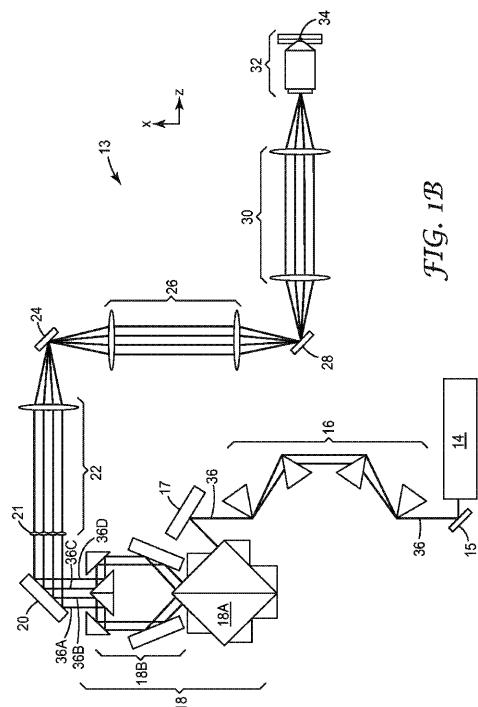


FIG. 1B

【図 2】

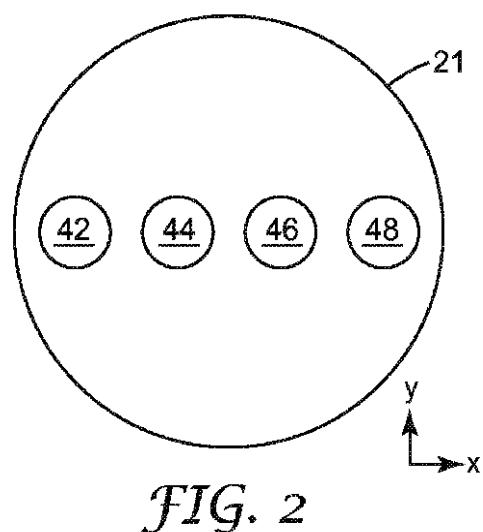


FIG. 2

【図 3 A】

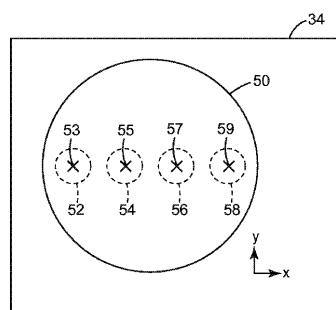


FIG. 3A

【図 3 B】

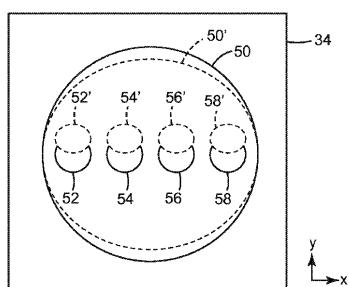


FIG. 3B

【図 3 C】

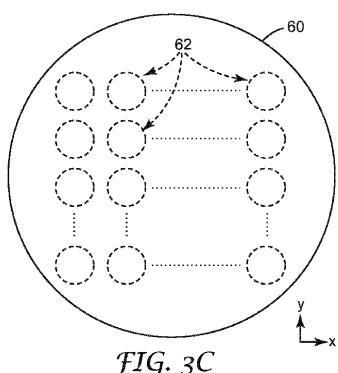


FIG. 3C

【図 3 D】

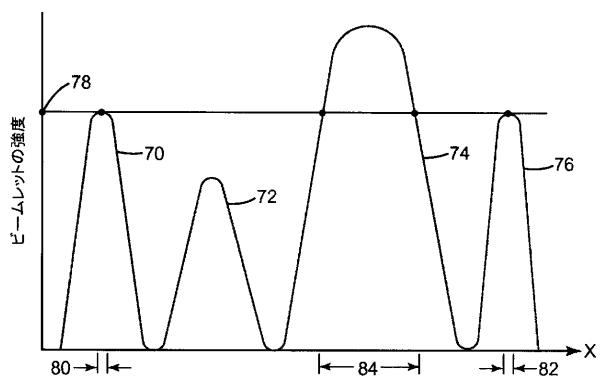


FIG. 3D

【図 3 E】

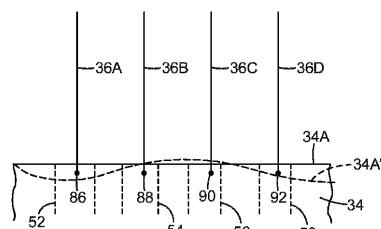


FIG. 3E

【図4】

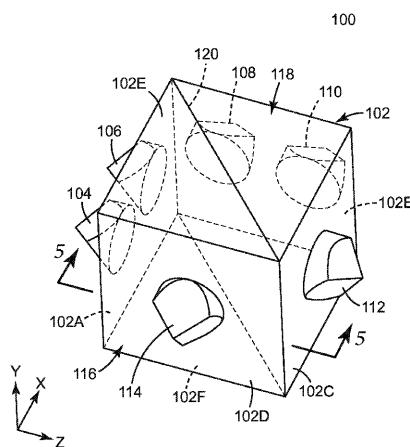


FIG. 4

【図5A】

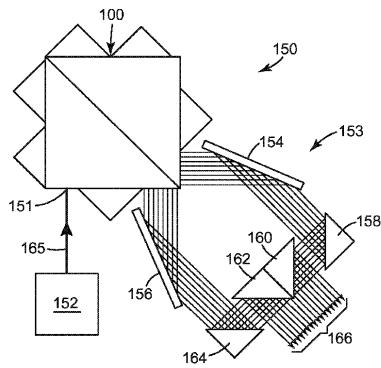


FIG. 5A

【図5B】

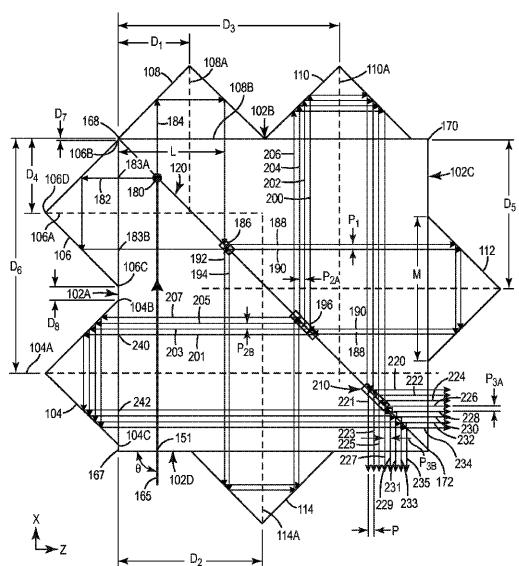


FIG. 5B

【図6】

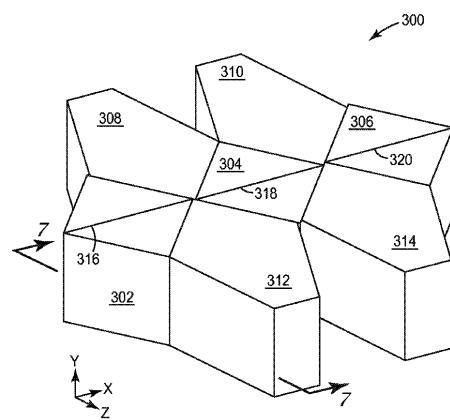


FIG. 6

【図 7 A】

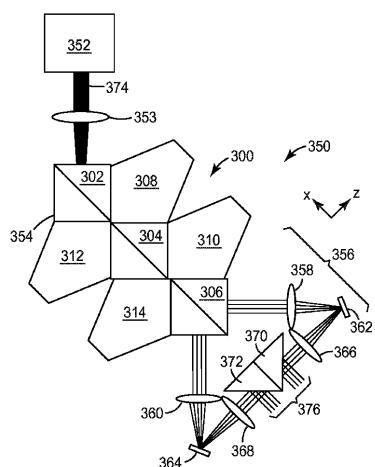


FIG. 7A

【図 7 B】

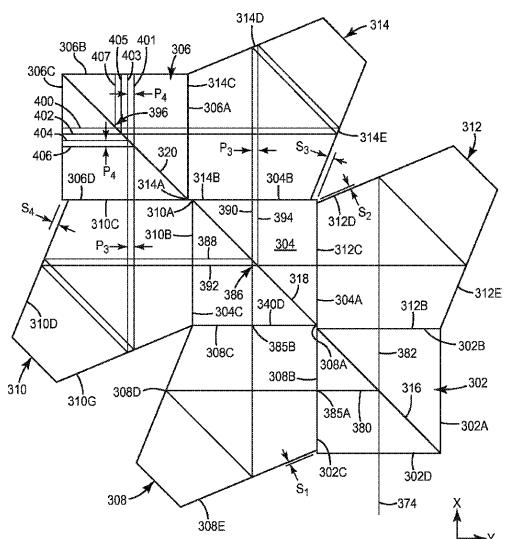


FIG. 7B

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2007/077980
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
G02B 26/08(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 8 : G02B, B41J		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models since 1975. Japanese utility models and applications for utility models since 1975.		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKIPASS(KIPO internal)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US5798784 A (JUN NONAKA et al.) 25 August 1998 See abstract and figs2,3.	1-27
A	US6178028 B1 (HIROYUKI WASHIYAMA et al.) 23 January 2001 See abstract and figs1(A),1(B).	1-27
A	US6369951 B1 (ERWIN SPANNER) 09 April 2002 See abstract and figs1~3.	1-27
A	US2004/156134 A1 (MAKOTO FURUKI et al.) 12 August 2004 See abstract and figs4~11.	1-27
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 20 FEBRUARY 2008 (20.02.2008)	Date of mailing of the international search report 20 FEBRUARY 2008 (20.02.2008)	
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon, 139 Seonsa-ro, Seo-gu, Daejeon 302-701, Republic of Korea Facsimile No. 82-42-472-7140	Authorized officer KOH, JAE HYUN Telephone No. 82-42-481-5687	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2007/077980

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US5798784 A	25.08.1998	DE4426069A JP07035994A	26.01.1995 07.02.1995
US6178028 B1	23.01.2001	JP11249043A	17.09.1999
US6369951 B1	09.04.2002	DE19958555A DE50002133C0 EP1031868A1 EP1031868B1 JP2000249513A	31.08.2000 18.06.2003 30.08.2000 14.05.2003 14.09.2000
US20040156134 A1	12.08.2004	JP2004212979A US7307787B2	29.07.2004 11.12.2007

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MT,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,SV,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100102990

弁理士 小林 良博

(74)代理人 100098486

弁理士 加藤 憲一

(72)発明者 ファクリス,ディーン

アメリカ合衆国,ニューヨーク 14572,ウェイランド,ティバーズ コーナー ロード 7
576

(72)発明者 マーナン,アンドリュー ジェイ.

アメリカ合衆国,ニューヨーク 12866,サラトガ スプリングス,シャーウッド トレイル
1

F ターム(参考) 4E068 CB08 CD08 CD09 CD13 CD16 CE03 DB10

4F213 AA44 AH73 WA86 WA97 WB01