

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6349410号  
(P6349410)

(45) 発行日 平成30年6月27日 (2018.6.27)

(24) 登録日 平成30年6月8日 (2018.6.8)

(51) Int. Cl.	F I	
GO2B 6/27 (2006.01)	GO2B 6/27	
GO2F 1/33 (2006.01)	GO2F 1/33	
GO2F 1/29 (2006.01)	GO2F 1/29	
GO2B 27/28 (2006.01)	GO2B 27/28	Z
GO2B 26/06 (2006.01)	GO2B 26/06	

請求項の数 20 (全 35 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2016-554648 (P2016-554648)	(73) 特許権者	516254913 チャン, ビエン
(86) (22) 出願日	平成27年2月26日 (2015.2.26)		アメリカ合衆国 ニューハンプシャー 03054, メリマック, ウッドワード ロード 72
(65) 公表番号	特表2017-506769 (P2017-506769A)	(73) 特許権者	516254924
(43) 公表日	平成29年3月9日 (2017.3.9)		タイェパティ, パルヴィス
(86) 国際出願番号	PCT/US2015/017728		アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01770, シャーボーン, ファーム ロード 134
(87) 国際公開番号	W02015/130920	(73) 特許権者	516254935
(87) 国際公開日	平成27年9月3日 (2015.9.3)		ファン, ロビン
審査請求日	平成28年10月7日 (2016.10.7)		アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01862, ノース ビレリカ, グリーン ロード 5
(31) 優先権主張番号	61/986, 237		
(32) 優先日	平成26年4月30日 (2014.4.30)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	61/944, 989		
(32) 優先日	平成26年2月26日 (2014.2.26)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可変ビームパラメータ積を有するマルチビームレーザ配列のためのシステムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のビーム源から複数の放射ビームの空間分布を受け取って変更し、前記変更された空間分布を伴う前記放射ビームを光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節および集束システムであって、前記放射ビームはそれぞれ、偏光状態を有し、かつ集合的に空間分布を有し、前記システムは、

前記放射ビームのそれぞれを複数の空間的に変位させられた出力ビームに分割するための第1の光学要素であって、前記分割は、前記偏光状態に基づく、第1の光学要素と、

前記出力ビームを前記光ファイバ端面上に組み合わせるための集束光学部と、

(i) 前記放射ビームのうちの少なくとも1つ、および/または (ii) 前記集束光学部による複数の出力ビームの組み合わせ前の各複数の出力ビームのうちの少なくとも1つの偏光状態を変更するための第2の光学要素であって、それによって、前記組み合わせられた出力ビームは、前記放射ビームの前記空間分布と異なる出力空間分布を有し、前記出力分布は、前記偏光に基づいた分割によって決定される、第2の光学要素と

を備え、

前記第2の光学要素は、前記ビーム源と前記第1の光学要素との間の光軸に沿って前記ビーム源と前記第1の光学要素との間に配置されている、システム。

【請求項 2】

前記第2の光学要素は、半波長板である、請求項1に記載のシステム。

【請求項 3】

10

20

前記第 1 の光学要素は、前記放射ビームの前記偏光状態に従って、前記放射ビームを前記出力ビームに分割するための偏光ビームスプリッタである、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記半波長板は、前記ビーム源と前記偏光ビームスプリッタとの間の光軸に沿って前記ビーム源と前記偏光ビームスプリッタとの間に配置されている、請求項 3 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記出力ビームの偏光状態を無作為化するための偏光ランダムマイザであって、前記ビーム源と前記集束光学部との間の光軸に沿って前記ビーム源と前記集束光学部との間に配置されている偏光ランダムマイザをさらに備える、請求項 3 に記載のシステム。

10

【請求項 6】

前記偏光ランダムマイザは、4 分の 1 波長板である、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記偏光ランダムマイザは、偏光スクランブラである、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記第 1 の光学要素は、前記放射ビームのうちの少なくともいくつかの前記偏光状態に基づいて、前記放射ビームのうちの少なくともいくつかを空間的に変位させるための複屈折ビームディスプレーサである、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記ビームディスプレーサは、一軸複屈折性であり、それによって、前記放射ビームのそれぞれは、前記ビームディスプレーサの光軸に沿って伝搬する通常ビームと、前記光軸から離れて伝搬する異常ビームとに分割される、請求項 8 に記載のシステム。

20

【請求項 10】

前記通常ビームおよび異常ビームのそれぞれの間のパワー分布は、対応する放射ビームの偏光成分に依存する、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 11】

複数のビーム源から複数の放射ビームの空間分布を受け取って変更し、前記変更された空間分布を伴う前記放射ビームを光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節および集束システムであって、前記放射ビームはそれぞれ、偏光状態を有し、かつ集合的に空間分布を有し、前記システムは、

30

前記放射ビームのそれぞれを複数の空間的に変位させられた出力ビームに分割するための第 1 の光学要素であって、前記分割は、前記偏光状態に基づく、第 1 の光学要素と、

前記出力ビームを前記光ファイバ端面上に組み合わせるための集束光学部と、

( i ) 前記放射ビームのうちの少なくとも 1 つ、および / または ( i i ) 前記集束光学部による複数の出力ビームの組み合わせ前の各複数の出力ビームのうちの少なくとも 1 つの偏光状態を変更するための第 2 の光学要素であって、それによって、前記組み合わせられた出力ビームは、前記放射ビームの前記空間分布と異なる出力空間分布を有し、前記出力分布は、前記偏光に基づいた分割によって決定され、前記第 1 の光学要素は、第 1 の偏光ビームスプリッタおよび第 2 の偏光ビームスプリッタを備え、前記第 2 の光学要素は、

40

半波長板を備え、前記半波長板は、前記第 1 の偏光ビームスプリッタと第 2 の偏光ビームスプリッタとの間の光軸に沿って前記第 1 の偏光ビームスプリッタと第 2 の偏光ビームスプリッタとの間に配置され、( i ) 前記第 1 の偏光ビームスプリッタは、前記放射ビームの前記偏光状態に従って、前記放射ビームを複数の空間的に変位させられた中間ビームに分割し、前記中間ビームの全てではないがいくつかは、前記放射ビームの光路に沿って伝搬し、前記中間ビームのうちのいくつかは、前記放射ビームの前記光路と平行であるが、前記光路から空間的に変位させられて伝搬し、( i i ) 前記第 2 の光学要素は、前記変位させられた中間ビームのうちの少なくともいくつかの偏光状態を妨害して変更し、( i i i ) 前記第 2 の偏光ビームスプリッタは、前記第 2 の光学要素によって妨害された前記変位させられた中間ビームの前記変更された偏光状態に基づいて、前記変位させられた中間

50

ビームのうちの少なくともいくつかを変位させられていない前記中間ビームと組み合わせる、第2の光学要素と、

前記放射ビームの前記偏光状態を確立するための4分の1波長板であって、前記ビーム源と前記第1の偏光ビームスプリッタとの間の光軸に沿って前記ビーム源と前記第1の偏光ビームスプリッタとの間に配置されている4分の1波長板と

を備える、システム。

【請求項12】

複数のビーム源から複数の放射ビームの空間分布を受け取って変更し、前記変更された空間分布を伴う前記放射ビームを光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節および集束システムであって、前記放射ビームはそれぞれ、偏光状態を有し、かつ

10

集合的に空間分布を有し、前記システムは、

前記放射ビームのそれぞれを複数の空間的に変位させられた出力ビームに分割するための第1の光学要素であって、前記分割は、前記偏光状態に基づく、第1の光学要素と、

前記出力ビームを前記光ファイバ端面上に組み合わせるための集束光学部と、

(i)前記放射ビームのうちの少なくとも1つ、および/または(ii)前記集束光学部による複数の出力ビームの組み合わせ前の各複数の出力ビームのうちの少なくとも1つの偏光状態を変更するための第2の光学要素であって、それによって、前記組み合わせられた出力ビームは、前記放射ビームの前記空間分布と異なる出力空間分布を有し、前記出力分布は、前記偏光に基づいた分割によって決定され、前記第1の光学要素は、第1の複屈折ビームディスプレーサおよび第2の複屈折ビームディスプレーサを備え、前記第2の

20

光学要素は、半波長板を備え、前記半波長板は、前記第1のビームディスプレーサと第2のビームディスプレーサとの間の光軸に沿って前記第1のビームディスプレーサと第2のビームディスプレーサとの間に配置され、(i)前記第1のビームディスプレーサは、前記放射ビームの前記偏光状態に基づいて、前記放射ビームのそれぞれを、前記ビームディスプレーサの光軸に沿って伝搬する通常中間ビームと、前記光軸から離れて伝搬する異常中間ビームとに変位させ、(ii)前記第2の光学要素は、前記通常中間ビームおよび前記異常中間ビームの前記偏光状態を妨害して変更し、(iii)前記第2のビームディスプレーサは、前記通常中間ビームおよび前記異常中間ビームの前記変更された偏光状態に基づいて前記通常中間ビームおよび前記異常中間ビームを変位させる、第2の光学要素と

30

、

前記放射ビームの前記偏光状態を確立するための4分の1波長板であって、前記ビーム源と前記第1の複屈折ビームディスプレーサとの間の光軸に沿って前記ビーム源と前記第1の複屈折ビームディスプレーサとの間に配置されている4分の1波長板と

を備える、システム。

【請求項13】

前記半波長板の光軸まわりの前記半波長板の回転角度は、前記放射ビームの最大開口数と前記放射ビームの最小開口数との間のビームパワーの割付を決定する、請求項11に記載のシステム。

【請求項14】

前記偏光ビームスプリッタは、前記出力ビームが前記放射ビームの光路に対して平行外角度で伝搬するように角度付けられた上部反射表面を有する、請求項3に記載のシステム

40

【請求項15】

前記ビームディスプレーサは、前記出力ビームが前記放射ビームの光路に対して平行外角度で伝搬するように楔状にされている、請求項8に記載のシステム。

【請求項16】

前記第1の光学要素は、第1および第2の離間した実質的に光学的に透明な板を備え、前記第1の板および第2の板は、相互に平行に配向されるが、前記放射ビームの光路に対して角度付けられ、前記第2の光学要素は、前記第1の板と第2の板との間に介在する半波長板であり、前記第1の板および第2の板のそれぞれは、前記第2の光学要素に対面す

50

る複屈折表面と、前記複屈折表面と反対側の高度反射表面とを有する、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 17】

前記半波長板の光軸まわりの前記半波長板の回転角度は、前記放射ビームの最大開口数と前記放射ビームの最小開口数との間のビームパワーの割付を決定する、請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 18】

前記第 1 の光学要素は、少なくとも 1 つの反射体と、第 1 および第 2 の離間した実質的に光学的に透明な板とを備え、前記第 1 の板および第 2 の板は、前記放射ビームの光路に対して反対角度で配向され、前記第 2 の光学要素は、半波長板であり、前記第 1 の板および第 2 の板のそれぞれは、前記第 2 の光学要素に対面する複屈折表面と、前記複屈折表面と反対側の高度反射表面とを備える、請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 19】

前記第 1 の板および第 2 の板は、前記放射ビームの前記光路に沿って配置され、前記反射体は、前記放射ビームの前記光路から離間され、前記半波長板は、前記第 1 の板と前記反射体との間に配置され、前記第 1 の光学要素および第 2 の光学要素は、前記第 1 の板からの中間ビームが、前記半波長板を通過して進行し、前記反射体によって前記第 2 の板に反射され、前記第 2 の板から前記集束光学部を通過して伝搬するように、配列されている、請求項 18 に記載のシステム。

【請求項 20】

20

前記第 1 の板および第 2 の板は、前記放射ビームの前記光路に沿って配置され、第 1 の反射体および第 2 の反射体は、前記放射ビームの前記光路から離間され、相互に対して反対角度で配向され、前記半波長板は、前記反射体間に配置され、前記第 1 の光学要素および第 2 の光学要素は、前記第 1 の板からの中間ビームが、前記第 1 の反射体によって前記半波長板を通過するように指向され、前記第 2 の反射体によって前記第 2 の板に指向されることにより、前記集束光学部を通過して伝搬するように、配列されている、請求項 18 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

(関連出願)

本願は、2014年2月26日に提出された米国仮特許出願第61/944,989号、2014年4月30日に提出された米国仮特許出願第61/986,237号の利益および優先権を主張し、これにより、それらの各々の開示全体は、参照によって本明細書に援用される。

【0002】

(技術分野)

種々の実施形態では、本発明は、レーザシステムに関し、具体的には、制御可能なビームパラメータ積を伴うレーザシステムに関する。

40

【背景技術】

【0003】

(背景)

高出力レーザシステムは、溶接、切断、穿孔、および材料処理等の異なる用途のホストに利用される。そのようなレーザシステムは、典型的には、レーザエミッタと、光学システムとを含み、レーザエミッタからのレーザ光が光ファイバ(または単に「ファイバ」)の中へ結合され、光学システムは、処理される加工対象物上にファイバからレーザ光を集束させる。光学システムは、典型的には、高品質レーザビーム、または同等に、最低ビームパラメータ積(BPP)を伴うビームを生成するように設計される。BPPは、レーザビームの発散角度(半角)とビームの最も狭い点(すなわち、ビームウェスト、最小ス

50

ポットサイズ)におけるビームの半径との積である。BPPは、レーザビームの品質と、ビームがどれだけ良好に小さいスポットに集束させられることができるかとを定量化し、典型的には、ミリメートル・ミリラジアン(mm-mrad)の単位で表される。ガウスビームは、可能な限り最も低いBPPを有し、これは、パイによって除算されるレーザ光の波長によって求められる。同一の波長における理想ガウスビームのBPPに対する実際のビームのBPPの比は、ビーム品質の波長非依存性尺度である、M2と表される。

#### 【0004】

多くのレーザ処理用途では、所望のビームスポットサイズ、発散、およびビーム品質は、例えば、処理のタイプおよび/または処理されている材料のタイプに応じて変動し得る。レーザシステムのBPPにそのような変更を行うため、頻繁に、出力光学システムまたは光ファイバは、他の構成要素と交換され、かつ/または再整合させられなければならない。これは、レーザシステムの壊れやすい光学構成要素の不慮の損傷にさえつながり得る、時間がかかる高価なプロセスである。したがって、光ファイバの出力において、レーザビームまたは光学システムへのそのような調節を伴わない、レーザシステムのBPPを変動させるための代替的技術の必要性がある。

#### 【発明の概要】

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0005】

#### (概要)

本発明の種々の実施形態は、レーザシステムを提供し、システムにおいて、システムの(すなわち、その出力レーザビームの)BPPが、ファイバから出射する出力ビームの操作を介するのではなく、光ファイバの中へ結合される1つまたは複数の入力レーザビームの操作を介して変動させられる。制御可能に可変のBPPを伴う本出力ビームは、溶接、切断、穿孔等の用途において加工対象物进行处理するために利用されてもよい。本発明の実施形態は、レーザシステムの出力において制御可能に可変のBPPを可能にするために、入力レーザビーム(単数または複数)の焦点スポットおよび/またはビーム品質を変動させる。(本明細書で入力レーザビームという言葉は、別様に指示されない限り、「1つまたは複数の入力レーザビーム」、すなわち、複数の入力レーザビームの可能性を含むことを意味すると理解される)。例えば、入力レーザビームの焦点スポットが、入力ビームが固定ビーム品質を有する状態て変動させられてもよく、または入力ビームのビーム品質(例えば、ビーム発散、ビームサイズ、および/またはパワー)が変動させられてもよく、もしくはそのような技法の組み合わせが利用されてもよい。

#### 【0006】

本発明の実施形態は、1つまたは複数の入力レーザビームを光ファイバの中へ結合する。種々の実施形態では、光ファイバは、単一のコアを取り囲む複数のクラッド層、単一のクラッド層内の複数の別個のコア領域(もしくは「コア」)、または複数のクラッド層によって取り囲まれる複数のコアを有する。

#### 【0007】

本明細書で、「光学要素」とは、電磁放射を再指向し、反射し、屈曲させ、または任意の他の様式で光学的に操作する、レンズ、鏡、プリズム、グレーティング、および同等物のうちのいずれかを指し得る。本明細書で、ビームエミッタ、エミッタ、またはレーザエミッタ、もしくはレーザは、半導体要素等の任意の電磁ビーム生成デバイスを含み、任意の電磁ビーム生成デバイスは、電磁ビームを生成するが、自己共振である場合もあり、そうではない場合もある。これらはまた、ファイバレーザ、ディスクレーザ、非ソリッドステートレーザ等も含む。概して、各エミッタは、後反射表面と、少なくとも1つの光学利得媒体と、前反射表面とを含む。光学利得媒体は、電磁スペクトルの任意の特定の部分に限定されないが、可視光、赤外光、および/または紫外光であり得る電磁放射の利得を増加させる。エミッタは、複数のビームを放出するように構成されるダイオードバー等の複数のビームエミッタを含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。本明細書の実施形態で受け取られる入力ビームは、当技術分野で公知である種々の技法を使用して

組み合わせられる、単波長ビームまたは複数波長ビームであってもよい。

【0008】

本発明の実施形態は、複数波長ビームを形成するように分散要素を使用して組み合わせられる、1つまたは複数のダイオードレーザー等の複数のエミッタを含む、波長ビーム結合(WBC)システムとともに利用されてもよい。WBCシステム内の各エミッタは、個別に共振し、ビーム結合次元に沿って分散要素によってフィルタにかけられる一般的部分反射出力結合器から、波長特異的フィードバックを通して安定させられる。例示的WBCシステムは、2000年2月4日に出願された米国特許第6,192,062号、1998年9月8日に出願された米国特許第6,208,679号、2011年8月25日に出願された米国特許第8,670,180号、および2011年3月7日に出願された米国特許第8,559,107号で詳述され、それぞれの開示全体が参照することによって本明細書に組み込まれる。

10

【0009】

一側面では、本発明の実施形態は、複数のビーム源から複数の放射ビームの空間分布を受け取って変更し、変更された空間分布を伴う放射を光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムを特色とする。空間分布および変更された空間分布は、空間パワー分布であってもよい。放射ビームはそれぞれ、偏光状態を有し、かつ集散的に空間分布(例えば、空間パワー分布)を有する。本システムは、放射ビームのそれぞれを複数の空間的に変位させられた出力ビームに分割するための第1の光学要素であって、分割は、偏光状態に基づく、第1の光学要素と、出力ビームを光ファイバ端面上に組み合わせるための集束光学部(例えば、1つまたは複数のレンズ、鏡、および/または他の光学要素)と、(i)放射ビームのうちの少なくとも1つ、および/または(ii)集束光学部による出力ビームの組み合わせの前に各複数の出力ビームのうちの少なくとも1つの偏光状態を変更するための第2の光学要素であって、それによって、組み合わせられた出力ビームは、放射ビームの空間分布と異なる出力空間分布を有し、出力分布は、偏光に基づいた分割によって決定される、第2の光学要素とを含む、または本質的にそれらから成る。

20

【0010】

本発明の実施形態は、種々の組み合わせのうちのいずれかにおいて、以下のうちの1つまたは複数のものを含んでもよい。第2の光学要素は、半波長板を含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。第1の光学要素は、放射ビームの偏光状態に従って、放射ビームを出力ビームに分割するための偏光ビームスプリッタを含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。半波長板は、偏光ビームスプリッタの光学的上流にあってもよい(すなわち、入射光が偏光ビームスプリッタの前の半波長板に衝突するように位置付けられる)。偏光ビームスプリッタは、出力ビームが放射ビームの光路に対して平行外角度で伝搬するように角度付けられる上部反射表面を有してもよい。出力ビームの偏光状態を無作為化するための偏光ランダムマイザは、集束光学部の光学的上流にあってもよい。偏光ランダムマイザは、4分の1波長板および/または偏光スクランブラを含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。第1の光学要素は、放射ビームの偏光状態に基づいて、放射ビームのうちの少なくともいくつかを空間的に変位させるための複屈折ビームディスペーサを含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。ビームディスペーサは、複屈折性(例えば、一軸複屈折性)であり得、それによって、放射ビームのそれぞれは、ビームディスペーサの光軸に沿って伝搬する通常ビームと、光軸から離れて伝搬する異常ビームとに分割される。通常ビームおよび異常ビームのそれぞれの間のパワー分布は、対応する放射ビームの偏光成分に依存してもよい。ビームディスペーサは、出力ビームが放射ビームの光路に対して平行外角度で伝搬するように楔状にされてもよい。

30

40

【0011】

第1の光学要素は、第1および第2の偏光ビームスプリッタを含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。第2の光学要素は、その光軸に沿って第1および第2の

50

偏光ビームスプリッタの間に配置される半波長板を含んでもよい、または本質的にそれから成ってもよい。第1の偏光ビームスプリッタは、放射ビームの偏光状態に従って、放射ビームを複数の空間的に変位させられた中間ビームに分割してもよい。中間ビームの全てではないがいくつかは、放射ビームの光路に沿って伝搬してもよく、中間ビームのうちのいくつかは、放射ビームの光路と平行であるが、そこから空間的に変位させられて伝搬してもよい。第2の光学要素は、変位させられた中間ビームのうちの少なくともいくつかの偏光状態を妨害して変更してもよい。第2の偏光ビームスプリッタは、第2の光学要素によって妨害される変位させられた中間ビームの変更された偏光状態に基づいて、変位させられた中間ビームのうちの少なくともいくつかを変位させられていない中間ビームと組み合わせてもよい。本システムは、放射ビームの偏光状態を確立するための、第1の偏光ビームスプリッタの光学的上流にある4分の1波長板を含んでもよい。半波長板の光軸まわりの半波長板の回転角度は、放射ビームの最大開口数と放射ビームの最小開口数との間のビーム出力の割付を決定してもよい。

10

## 【0012】

第1の光学要素は、第1および第2の複屈折ビームディスプレーサを含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。第2の光学要素は、その光軸に沿って第1および第2のビームディスプレーサの間に配置される半波長板を含んでもよい、または本質的にそれから成ってもよい。第1のビームディスプレーサは、放射ビームの偏光状態に基づいて、放射ビームのそれぞれを、ビームディスプレーサの光軸に沿って伝搬する通常中間ビームと、光軸から離れて伝搬する異常中間ビームとに変位させてもよい。第2の光学要素は、中間ビームの偏光状態を妨害して変更してもよい。第2のビームディスプレーサは、中間ビームの変更した偏光状態に基づいて中間ビームを変位させてもよい。本システムは、放射ビームの偏光状態を確立するための、第1の偏光ビームスプリッタの光学的上流にある4分の1波長板を含んでもよい。

20

## 【0013】

第1の光学要素は、第1および第2の離間した実質的に光学的に透明な板を含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。板は、相互と平行に配向されてもよいが、放射ビームの光路に対して角度付けられてもよい。第2の光学要素は、第1および第2の板の間に介在する半波長板を含んでもよい、または本質的にそれから成ってもよい。第1および第2の板のそれぞれは、第2の光学要素に対面する複屈折表面と、複屈折表面と反対側の高度反射表面とを有してもよい。半波長板の光軸まわりの半波長板の回転角度は、放射ビームの最大開口数と放射ビームの最小開口数との間のビーム出力の割付を決定してもよい。

30

## 【0014】

第1の光学要素は、少なくとも1つの反射体と、第1および第2の離間した実質的に光学的に透明な板とを含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。板は、放射ビームの光路に対して反対角度で配向されてもよい。第2の光学要素は、半波長板を含んでもよい、または本質的にそれから成ってもよい。第1および第2の板のそれぞれは、第2の光学要素に対面する複屈折表面と、複屈折表面と反対側の高度反射表面とを有してもよい。第1および第2の板は、放射ビームの光路に沿って配置されてもよい。反射体は、放射ビームの光路から離間されてもよい。半波長板は、第1の板と反射体との間に配置されてもよい。第1および第2の光学要素は、第1の板からの中間ビームが、半波長板を通過して進行し、反射体によって第2の板に反射され、第2の板から集束光学部を通過して伝搬するように、配列されてもよい。第1および第2の板は、放射ビームの光路に沿って配置されてもよい。第1および第2の反射体は、放射ビームの光路から離間され、相互に対して反対角度で配向されてもよい。半波長板は、反射体間に配置されてもよい。第1および第2の光学要素は、第1の板からの中間ビームが、第1の反射体によって半波長板を通過するように指向され、第2の反射体によって第2の板に指向されることにより集束光学部を通過して伝搬するように、配列されてもよい。

40

## 【0015】

50

別の側面では、本発明の実施形態は、複数のビーム源から複数の放射ビームの空間分布を受け取って変更し、変更された空間分布を伴う放射を光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムを特色とする。空間分布および変更された空間分布は、空間パワー分布であってもよい。本システムは、変形可能鏡と、集束光学部と、コントローラとを含む、または本質的にそれらから成る。変形可能鏡は、反射表面を有し、コントローラは、反射表面の構造（例えば、形状）を変更する。変形可能鏡および集束光学部は、変形可能鏡が放射ビームを受け取り、集束光学部を通して端面上にそれらを指向するように配列される。コントローラは、標的放射パワー分布に応答し、標的放射パワー分布を伴って放射ビームを端面に衝突させる鏡構造を生成するように構成される。

10

## 【0016】

さらに別の側面では、本発明の実施形態は、ビーム源から放射ビームの空間パワー分布を受け取って変更し、変更された空間パワー分布を伴う放射を光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムを特色とする。本システムは、グラディエントインデックスレンズであって、レンズの光軸を通して一定であるが、光軸と垂直な方向で変動する屈折率を有するグラディエントインデックスレンズと、レンズから生じるビームのウェスト、スポットサイズ、ビーム品質、（ファイバの中への）入射角度、および/またはビームの発散を変動させるように、レンズに歪みを導入するための手段と、端面上で標的変更空間パワー分布を達成するように、歪み導入手段を制御するためのコントローラとを含む、または本質的にそれらから成る。歪み導入手段は、局所加熱器、レンズの中へ指向される放射源、レンズの光学性質を変更する音響光学変調器および/または変換器、もしくはレンズの光学性質を変更する電気光学変調器および/または変換器のうちの少なくとも1つであってもよい。反射表面は、制御可能な位相誤差を有してもよく、位相誤差は、標的放射パワー分布を生成する。

20

## 【0017】

別の側面では、本発明の実施形態は、ビーム源から放射ビームの空間パワー分布を受け取って変更し、変更された空間パワー分布を伴う放射を光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムを特色とする。本システムは、集束光学部と、集束光学部から生じるビームのウェスト、スポットサイズ、ビーム品質、（ファイバの中への）入射角度、および/またはビームの発散を変動させるように、集束光学部に熱依存性歪みを導入するための加熱源と、端面上で標的変更空間パワー分布を達成するように、加熱源を制御するためのコントローラとを含む、または本質的にそれらから成る。

30

## 【0018】

さらに別の側面では、本発明の実施形態は、ビーム源から放射ビームの空間パワー分布を受け取って変更し、変更された空間パワー分布を伴う放射を光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムを特色とする。本システムは、集束光学部と、（例えば、ファイバ端面に突き合わせ結合され、例えば、間隙なく突き合わせ結合され得る、）集束光学部からファイバ端面の中へ放射を光学的に結合するファイバ端部キャップと、集束光学部（および/または端部キャップ）から生じるビームのウェスト、スポットサイズ、ビーム品質、（ファイバの中への）入射角度、および/またはビームの発散を変動させるように、ファイバ端部キャップに歪みを導入するための手段と、端面上で標的変更空間パワー分布を達成するように、歪み導入手段を制御するためのコントローラとを含む、または本質的にそれらから成る。歪み導入手段は、局所加熱器、端部キャップの中へ指向される放射源、端部キャップの光学性質を変更する音響光学変調器および/または変換器、もしくは端部キャップの光学性質を変更する電気光学変調器および/または変換器のうちの少なくとも1つを含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。

40

## 【0019】

別の側面では、本発明の実施形態は、ビーム源から放射ビームを受け取り、放射を光フ

50



ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムを特色とする。本システムは、集束光学部と、変更された空間パワー分布を伴って集束光学部からファイバ端面の中へ放射を光学的に結合するためのグラディエントインデックスファイバのセグメントとを含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。グラディエントインデックスファイバのセグメントは、端面に突き合わせ結合されてもよい。

【 0 0 2 0 】

さらに別の側面では、本発明の実施形態は、複数の放射ビームの空間パワー分布を変更するためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムを特色とする。本システムは、放射ビーム（例えば、レーザビーム）を放出するための複数のビーム源と、ビーム源からの放射を光ファイバの端面上に集束させるための集束光学部（例えば、少なくとも1つの集束レンズ）と、端面上で標的空間パワー分布を達成するように、ビームを偏移させるためのビーム経路調節器とを含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。ビーム経路調節器は、標的空間パワー分布を達成するように、ビーム源からのビーム間の間隔を変更してもよい。ビーム経路調節器は、標的空間パワー分布を達成するように、集束光学部に対してビームのうちの少なくともいくつかを偏移させてもよい。本システムは、標的空間パワー分布を達成するように、ビームのうちの少なくともいくつかのパワーを選択的に変更するための手段（例えば、少なくとも1つのビームエミッタの中および/または外へのパワーを変調するためのコントローラ）を含んでもよい。

【 0 0 2 1 】

これらおよび他の目的は、本明細書に開示される本発明の利点および特徴とともに、以下の説明、添付図面、および特許請求の範囲の参照を通して、より明白となる。さらに、本明細書に説明される種々の実施形態の特徴は、相互排他的ではなく、種々の組み合わせおよび順列で存在し得ることを理解されたい。本明細書で使用される場合、「実質的に」という用語は、 $\pm 10\%$ 、いくつかの実施形態では、 $\pm 5\%$ を意味する。「本質的に～から成る」という用語は、本明細書で別様に定義されない限り、機能に寄与する他の材料を除外することを意味する。それでもなお、そのような他の材料が、集合的または個別に、微量で存在し得る。本明細書では、「放射」および「光」という用語は、別様に指示されない限り、同義的に利用される。

本発明は、例えば、以下を提供する。

(項目1)

複数のビーム源から複数の放射ビームの空間分布を受け取って変更し、前記変更された空間分布を伴う前記放射を光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムであって、前記放射ビームはそれぞれ、偏光状態を有し、かつ集合的に空間分布を有し、前記システムは、

前記放射ビームのそれぞれを複数の空間的に変位させられた出力ビームに分割するための第1の光学要素であって、前記分割は、前記偏光状態に基づく、第1の光学要素と、

前記出力ビームを前記光ファイバ端面上に組み合わせるための集束光学部と、

(i) 前記放射ビームのうちの少なくとも1つ、および/または(ii) 前記集束光学部による複数の出力ビームの組み合わせ前の各複数の出力ビームのうちの少なくとも1つの偏光状態を変更するための第2の光学要素であって、それによって、前記組み合わせられた出力ビームは、前記放射ビームの前記空間分布と異なる出力空間分布を有し、前記出力分布は、前記偏光に基づいた分割によって決定される、第2の光学要素と

を備える、システム。

(項目2)

前記第2の光学要素は、半波長板である、項目1に記載のシステム。

(項目3)

前記第1の光学要素は、前記放射ビームの前記偏光状態に従って、前記放射ビームを前記出力ビームに分割するための偏光ビームスプリッタである、項目2に記載のシステム。

(項目4)

前記半波長板は、前記偏光ビームスプリッタの光学的上流にある、項目2に記載のシス

10

20

30

40

50

テム。

(項目 5)

前記出力ビームの偏光状態を無作為化するための、前記集束光学部の光学的上流にある偏光ランダマイザをさらに備える、項目 3 に記載のシステム。

(項目 6)

前記偏光ランダマイザは、4分の1波長板である、項目 5 に記載のシステム。

(項目 7)

前記偏光ランダマイザは、偏光スクランブラである、項目 5 に記載のシステム。

(項目 8)

前記第 1 の光学要素は、前記放射ビームのうちの少なくともいくつかの前記偏光状態に基づいて、前記放射ビームのうちの少なくともいくつかを空間的に変位させるための複屈折ビームディスプレーサである、項目 2 に記載のシステム。

10

(項目 9)

前記ビームディスプレーサは、一軸複屈折性であり、それによって、前記放射ビームのそれぞれは、前記ビームディスプレーサの光軸に沿って伝搬する通常ビームと、前記光軸から離れて伝搬する異常ビームとに分割される、項目 8 に記載のシステム。

(項目 10)

前記通常ビームおよび異常ビームのそれぞれの間のパワー分布は、対応する放射ビームの偏光成分に依存する、項目 9 に記載のシステム。

(項目 11)

前記第 1 の光学要素は、第 1 の偏光ビームスプリッタおよび第 2 の偏光ビームスプリッタを備え、前記第 2 の光学要素は、半波長板を備え、半波長板は、その光軸に沿って前記第 1 の偏光ビームスプリッタと第 2 の偏光ビームスプリッタとの間に配置され、( i ) 前記第 1 の偏光ビームスプリッタは、前記放射ビームの前記偏光状態に従って、前記放射ビームを複数の空間的に変位させられた中間ビームに分割し、前記中間ビームの全てではないがいくつかは、前記放射ビームの光路に沿って伝搬し、前記中間ビームのうちのいくつかは、前記放射ビームの前記光路と平行であるが、そこから空間的に変位させられて伝搬し、( i i ) 前記第 2 の光学要素は、前記変位させられた中間ビームのうちの少なくともいくつかの偏光状態を妨害して変更し、( i i i ) 前記第 2 の偏光ビームスプリッタは、前記第 2 の光学要素によって妨害された前記変位させられた中間ビームの前記変更された偏光状態に基づいて、前記変位させられた中間ビームのうちの少なくともいくつかを変位させられていない前記中間ビームと組み合わせる、項目 1 に記載のシステム。

20

30

(項目 12)

前記放射ビームの前記偏光状態を確立するための、前記第 1 の偏光ビームスプリッタの光学的上流にある 4 分の 1 波長板をさらに備える、項目 11 に記載のシステム。

(項目 13)

前記第 1 の光学要素は、第 1 の複屈折ビームディスプレーサおよび第 2 の複屈折ビームディスプレーサを備え、前記第 2 の光学要素は、半波長板を備え、半波長板は、その光軸に沿って前記第 1 のビームディスプレーサと第 2 のビームディスプレーサとの間に配置され、( i ) 前記第 1 のビームディスプレーサは、前記放射ビームの前記偏光状態に基づいて、前記放射ビームのそれぞれを、前記ビームディスプレーサの光軸に沿って伝搬する通常中間ビームと、前記光軸から離れて伝搬する異常中間ビームとに変位させ、( i i ) 前記第 2 の光学要素は、前記中間ビームの前記偏光状態を妨害して変更し、( i i i ) 前記第 2 のビームディスプレーサは、前記中間ビームの前記変更された偏光状態に基づいて前記中間ビームを変位させる、項目 1 に記載のシステム。

40

(項目 14)

前記放射ビームの前記偏光状態を確立するための、前記第 1 の偏光ビームスプリッタの光学的上流にある 4 分の 1 波長板をさらに備える、項目 13 に記載のシステム。

(項目 15)

前記半波長板の光軸まわりの前記半波長板の回転角度は、前記放射ビームの最大開口数

50

と前記放射ビームの最小開口数との間のビームパワーの割付を決定する、項目 1 2 に記載のシステム。

(項目 1 6)

前記偏光ビームスプリッタは、前記出力ビームが前記放射ビームの光路に対して平行外角度で伝搬するように角度付けられた上部反射表面を有する、項目 3 に記載のシステム。

(項目 1 7)

前記ビームディスペーサは、前記出力ビームが前記放射ビームの光路に対して平行外角度で伝搬するように楔状にされている、項目 8 に記載のシステム。

(項目 1 8)

前記第 1 の光学要素は、第 1 および第 2 の離間した実質的に光学的に透明な板を備え、前記第 1 の板および第 2 の板は、相互に平行に配向されるが、前記放射ビームの光路に対して角度付けられ、前記第 2 の光学要素は、前記第 1 の板と第 2 の板との間に介在する半波長板であり、前記第 1 の板および第 2 の板のそれぞれは、前記第 2 の光学要素に対面する複屈折表面と、前記複屈折表面と反対側の高度反射表面とを有する、項目 1 に記載のシステム。

(項目 1 9)

前記半波長板の光軸まわりの前記半波長板の回転角度は、前記放射ビームの最大開口数と前記放射ビームの最小開口数との間のビームパワーの割付を決定する、項目 1 8 に記載のシステム。

(項目 2 0)

前記第 1 の光学要素は、少なくとも 1 つの反射体と、第 1 および第 2 の離間した実質的に光学的に透明な板とを備え、前記第 1 の板および第 2 の板は、前記放射ビームの光路に対して反対角度で配向され、前記第 2 の光学要素は、半波長板であり、前記第 1 の板および第 2 の板のそれぞれは、前記第 2 の光学要素に対面する複屈折表面と、前記複屈折表面と反対側の高度反射表面とを備える、項目 1 に記載のシステム。

(項目 2 1)

前記第 1 の板および第 2 の板は、前記放射ビームの前記光路に沿って配置され、前記反射体は、前記放射ビームの前記光路から離間され、前記半波長板は、前記第 1 の板と前記反射体との間に配置され、前記第 1 の光学要素および第 2 の光学要素は、前記第 1 の板からの中間ビームが、前記半波長板を通過して進行し、前記反射体によって前記第 2 の板に反射され、前記第 2 の板から前記集束光学部を通過して伝搬するように、配列されている、項目 2 0 に記載のシステム。

(項目 2 2)

前記第 1 の板および第 2 の板は、前記放射ビームの前記光路に沿って配置され、第 1 の反射体および第 2 の反射体は、前記放射ビームの前記光路から離間され、相互に対して反対角度で配向され、前記半波長板は、前記反射体間に配置され、前記第 1 の光学要素および第 2 の光学要素は、前記第 1 の板からの中間ビームが、前記第 1 の反射体によって前記半波長板を通過するように指向され、前記第 2 の反射体によって前記第 2 の板に指向されることにより、前記集束光学部を通過して伝搬するように、配列されている、項目 2 0 に記載のシステム。

(項目 2 3)

複数のビーム源から複数の放射ビームの空間分布を受け取って変更し、前記変更された空間分布を伴う前記放射を光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムであって、前記システムは、

反射表面と、前記反射表面の構造を変更するためのコントローラとを備える変形可能鏡と、

集束光学部と

を備え、前記変形可能鏡および前記集束光学部は、前記変形可能鏡が前記放射ビームを受け取り、前記集束光学部を通して前記端面上に前記放射ビームを指向するように配列され、前記コントローラは、標的放射パワー分布にตอบสนองし、前記標的放射パワー分布を伴っ

10

20

30

40

50

て前記放射ビームを前記端面に衝突させる鏡構造を生成するように構成されている、システム。

(項目 2 4)

ビーム源から放射ビームの空間パワー分布を受け取って変更し、前記変更された空間パワー分布を伴う前記放射を光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムであって、前記システムは、

グラディエントインデックスレンズであって、前記レンズの光軸を通して一定であるが、前記光軸と垂直な方向で変動する屈折率を有するグラディエントインデックスレンズと、

前記レンズから生じるビームのウェストを変動させるように、前記レンズに歪みを導入するための手段と、

前記端面上で標的変更空間パワー分布を達成するように、前記歪み導入手段を制御するためのコントローラと

を備える、システム。

(項目 2 5)

前記歪み導入手段は、局所加熱器、前記レンズの中へ指向される放射源、前記レンズの光学性質を変更する音響光学変調器、または前記レンズの光学性質を変更する電気光学変調器のうちの少なくとも 1 つである、項目 2 4 に記載のシステム。

(項目 2 6)

前記反射表面は、制御可能な位相誤差を有し、前記位相誤差は、前記標的放射パワー分布を生成する、項目 2 4 に記載のシステム。

(項目 2 7)

ビーム源から放射ビームの空間パワー分布を受け取って変更し、前記変更された空間パワー分布を伴う前記放射を光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムであって、前記システムは、

集束光学部と、

前記集束光学部から生じるビームのウェストを変動させるように、前記集束光学部に熱依存性歪みを導入するための加熱源と、

前記端面上で標的変更空間パワー分布を達成するように、前記加熱源を制御するためのコントローラと

を備える、システム。

(項目 2 8)

ビーム源から放射ビームの空間パワー分布を受け取って変更し、前記変更された空間パワー分布を伴う前記放射を光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムであって、前記システムは、

集束光学部と、

前記集束光学部から前記ファイバ端面の中へ放射を光学的に結合するファイバ端部キャップと、

前記集束光学部から生じるビームのウェストを変動させるように、前記ファイバ端部キャップに歪みを導入するための手段と、

前記端面上で標的変更空間パワー分布を達成するように、前記歪み導入手段を制御するためのコントローラと

を備える、システム。

(項目 2 9)

前記歪み導入手段は、局所加熱器、前記端部キャップの中へ指向される放射源、前記端部キャップの光学性質を変更する音響光学変調器、または前記端部キャップの光学性質を変更する電気光学変調器のうちの少なくとも 1 つである、項目 2 8 に記載のシステム。

(項目 3 0)

ビーム源から放射ビームを受け取り、前記放射を光ファイバの端面上に集束させるためのビームパラメータ調節システムおよび集束システムであって、前記システムは、

10

20

30

40

50

集束光学部と、  
変更された空間パワー分布を伴って前記集束光学部から前記ファイバ端面の中へ放射を  
光学的に結合するためのグラディエントインデックスファイバのセグメントと  
を備える、システム。

(項目 3 1)

複数の放射ビームの空間パワー分布を変更するためのビームパラメータ調節システムお  
よび集束システムであって、前記システムは、  
放射ビームを放出するための複数のビーム源と、  
前記ビーム源からの放射を光ファイバの端面上に集束させるための集束光学部と、  
前記端面上で標的空間パワー分布を達成するように、前記ビームを偏移させるためのビ  
ーム経路調節器と  
を備える、システム。

10

(項目 3 2)

前記ビーム経路調節器は、前記標的空間パワー分布を達成するように、前記ビーム源か  
らの前記ビーム間の間隔を変更する、項目 3 1 に記載のシステム。

(項目 3 3)

前記ビーム経路調節器は、前記標的空間パワー分布を達成するように、前記集束光学部  
に対して前記ビームのうちの少なくともいくつかを偏移させる、項目 3 1 に記載のシステ  
ム。

(項目 3 4)

前記標的空間パワー分布を達成するように、前記ビームのうちの少なくともいくつかの  
パワーを選択的に変更するための手段をさらに備える、項目 3 1 に記載のシステム。

20

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【0022】

図面中、同様の参照文字は、概して、異なる図全体を通して、同一の部品を指す。また、図面は、必ずしも、正確な縮尺ではなく、代わりに、概して、本発明の原理を図示する際に強調される。以下の説明では、本発明の種々の実施形態が、以下の図面を参照して説明される。

【図 1】図 1 は、本発明の種々の実施形態による、レーザシステムの概略図である。

30

【図 2 A】図 2 A - 2 C は、本発明の種々の実施形態による、変形可能鏡を組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 2 B】図 2 A - 2 C は、本発明の種々の実施形態による、変形可能鏡を組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 2 C】図 2 A - 2 C は、本発明の種々の実施形態による、変形可能鏡を組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 3】図 3 A および図 3 B は、本発明の種々の実施形態による、グレーデッドインデックスレンズを組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 4】図 4 A および図 4 B は、本発明の種々の実施形態による、調節可能レンズを組み込むレーザシステムの概略図である。

40

【図 5】図 5 A および図 5 B は、本発明の種々の実施形態による、調節可能端部キャップを組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 6】図 6 A および図 6 B は、本発明の種々の実施形態による、グレーデッドインデックス内部結合ファイバを組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 7】図 7 A および図 7 B は、本発明の種々の実施形態による、変形可能鏡を組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 8】図 8 A および図 8 B は、本発明の種々の実施形態による、変形可能鏡および複数の入力ビームを組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 9 A】図 9 A および図 9 B は、本発明の種々の実施形態による、調節可能間隔を伴う複数の入力ビームを組み込むレーザシステムの概略図である。

50

【図 9 B】図 9 A および図 9 B は、本発明の種々の実施形態による、調節可能間隔を伴う複数の入力ビームを組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 9 C】図 9 C は、図 9 A のレーザシステムの集束レンズにおける入力ビームの概略図である。

【図 9 D】図 9 D は、図 9 A のレーザシステムの出力ビームの概略プロファイルである。

【図 9 E】図 9 E は、図 9 B のレーザシステムの集束レンズにおける入力ビームの概略図である。

【図 9 F】図 9 F は、図 9 B のレーザシステムの出力ビームの概略プロファイルである。

【図 9 G】図 9 G は、本発明の種々の実施形態による、再指向要素を組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 9 H】図 9 H - 9 J は、本発明の種々の実施形態による、経路調節器を組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 9 I】図 9 H - 9 J は、本発明の種々の実施形態による、経路調節器を組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 9 J】図 9 H - 9 J は、本発明の種々の実施形態による、経路調節器を組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 10】図 10 A および図 10 B は、本発明の種々の実施形態による、複数の可変パワー入力ビームを組み込むレーザシステムの概略図である。

【図 11 A】図 11 A は、本発明の種々の実施形態による、入力ビーム品質が偏光に基づいて調節される、レーザシステムの概略図である。

【図 11 B】図 11 B は、図 11 A のレーザシステムの入力開口数の関数としてのパワー分布の概略プロットである。

【図 11 C】図 11 C は、本発明の種々の実施形態による、入力ビーム品質が偏光に基づいて調節される、レーザシステムの概略図である。

【図 11 D】図 11 D は、図 11 C のレーザシステムの入力開口数の関数としてのパワー分布の概略プロットである。

【図 11 E】図 11 E - 11 H は、本発明の種々の実施形態による、入力ビーム品質が偏光に基づいて調節される、レーザシステムの概略図である。

【図 11 F】図 11 E - 11 H は、本発明の種々の実施形態による、入力ビーム品質が偏光に基づいて調節される、レーザシステムの概略図である。

【図 11 G】図 11 E - 11 H は、本発明の種々の実施形態による、入力ビーム品質が偏光に基づいて調節される、レーザシステムの概略図である。

【図 11 H】図 11 E - 11 H は、本発明の種々の実施形態による、入力ビーム品質が偏光に基づいて調節される、レーザシステムの概略図である。

【図 11 I】図 11 I および図 11 J は、本発明の種々の実施形態による、入力ビーム品質が偏光に基づいて調節され、マルチクラッド光ファイバとともに利用される、レーザシステムの概略図である。

【図 11 J】図 11 I および図 11 J は、本発明の種々の実施形態による、入力ビーム品質が偏光に基づいて調節され、マルチクラッド光ファイバとともに利用される、レーザシステムの概略図である。

【図 11 K】図 11 K は、図 11 I または図 11 J のレーザシステムとともに利用されるマルチクラッド光ファイバ内の空間パワー分布の概略プロットである。

【図 12 A】図 12 A - 12 C は、本発明の種々の実施形態による、入力ビーム品質が偏光に基づいて調節される、レーザシステムの概略図である。

【図 12 B】図 12 A - 12 C は、本発明の種々の実施形態による、入力ビーム品質が偏光に基づいて調節される、レーザシステムの概略図である。

【図 12 C】図 12 A - 12 C は、本発明の種々の実施形態による、入力ビーム品質が偏光に基づいて調節される、レーザシステムの概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

10

20

30

40

50

( 詳細な説明 )

図 1 は、本発明の種々の実施形態による、レーザシステム 100 の概略図である。レーザシステム 100 では、1 つまたは複数の入力ビーム 105 は、集束レンズ 110 を介して、ファイバ端部キャップ 120 を有する光ファイバ 115 の中へ集束させられる。端部キャップ 120 は、例えば、「コアレス」(すなわち、実質的に均質)またはグレーデッドインデックス(すなわち、段階的な屈折率を有する)ガラスの片であってもよく、端部キャップ 120 は、有利なこととして、所与の光学力のためにガラス・空気界面における光学強度を低減させ、かつ/または環境損傷(例えば、湿気)からファイバ 115 を保護してもよい。示されるように、光ファイバ 115 は、1 つまたは複数のクラッド層 130 によって取り囲まれる 1 つまたは複数のコア 125 を有してもよい。レーザシステム 100 に関して、入力ビーム(単数または複数)105 の BPP は、 $(x/2) \times \theta = (x \times d) / (4 \times f)$  として定義され、 $x$  は、入力ビーム 105 の直径(または「ビームサイズ」)であり、 $\theta$  は、入力ビーム 105 のレーザビーム発散(または「ビーム発散」)であり、 $d$  は、集束された入力ビーム 105 の集束直径であり、 $f$  は、集束レンズ 110 の焦点距離である。ビームサイズは、典型的には、「二次モーメント幅」または「D4 幅」に関して計算され、水平または垂直方向でのビームの D4 幅は、 $4 \times \sigma$  であり、 $\sigma$  は、それぞれ、水平周辺分布または垂直周辺分布の標準偏差である。単一のコア 125 および単一のクラッド層 130 を有する光ファイバ 110 は、 $d'$  のコア直径および  $D'$  のクラッド直径を有すると仮定されてもよい。

【0024】

いったん 1 つまたは複数の入力ビーム 105 が光ファイバ 115 の中へ結合されると、ファイバ 115 は、出力ビーム 135 を出力する。出力ビーム 135 の BPP (または「出力 BPP」) は、 $(d''/2) \times NA''$  として定義されてもよく、 $NA''$  は、ファイバ 115 の開口数であり、 $d''$  は、出力ビームサイズである。出力ビームサイズ  $d''$  は、クラッド 130 内およびコア 125 内で伝搬するビームの相対量(または同等に、コア 125 に対するクラッド 130 の「パワー含有比」)に依存する。例えば、出力 BPP は、クラッド 130 内のビームの量を最小限にすることによって最小限にされてもよく、出力 BPP は、コア 125 内のビームの量を最小限にすることによって最大限にされてもよい。したがって、出力 BPP は、ファイバ 115 の異なる領域内で入力ビーム(単数または複数)の異なる量を集束させることによって所望の値に調節されてもよい。一般に、ファイバ 115 は、出力ビーム内で入力光の入射角度(または発散もしくは開口数)を維持し、したがって、出力 BPP は、有利なこととして、入力ビーム品質(または BPP)の変動を介して変動させられ得る。

【0025】

図 2 A および 2 B を参照すると、本発明の種々の実施形態による例示的レーザシステム 200 では、1 つまたは複数の入力ビーム 105 が光ファイバ 115 の中へ集束させられる点を変更するために、変形可能鏡 210 が利用される。図 2 A に示されるように、公称条件では、入力ビーム(単数または複数)105 は、変形可能鏡 210 および集束レンズ 110 によってファイバ 115 のコア 125 の中へ集束させられ、したがって、出力 BPP を最小限にする。図 2 B に示されるように、変形可能鏡 210 は、光の一部がクラッド 130 の中へ波及するように入力ビーム 105 が集束させられ、出力 BPP を増加させるように、(例えば、変形可能鏡 210 の表面上の 1 つまたは複数の点の角度を変更することによって)操作されてもよい。同様に、変形可能鏡 210 は、ファイバ 115 がマルチコア光ファイバであるときに、集束された入力ビーム 105 の全体または一部をコア 125 以外のコアの中へ集束させるために利用されてもよい。当技術分野で公知であるように、変形可能鏡 210 は、例えば、独立平面鏡セグメントによって形成されるセグメント鏡を含んでもよい、または本質的にそれから成ってもよい。各セグメントは、入射光の波面を変更するように、アクチュエータにตอบสนองして、前後にわずかな距離で移動し、かつ/または 1 つまたは複数の方向に傾転してもよい。他の例示的変形可能鏡 210 は、連続面板鏡を含み、連続面板鏡は、膜の裏面に位置するアクチュエータのアレイのうちのいずれか

10

20

30

40

50

によって変形可能である連続膜を含む、または本質的にそれから成る。

【0026】

図2Aおよび図2Bに示されるように、変形可能鏡210および/またはその部分を変形させるアクチュエータのレイは、コントローラ220にตอบสนองし、それによって、コントローラ220は、変形可能鏡210の反射表面の構造を変更する。コントローラ220は、(例えば、ユーザによって入力される)所望の標的放射パワー分布にตอบสนองし、標的放射パワー分布を伴って放射ビームをファイバ115の端面に衝突させる鏡構造を生成するように構成される。コントローラ220は、当業者による必要以上の実験を伴わずに、特定の鏡面構造を介して所望のパワー分布(したがって、所望の出力BPP)を達成するようにプログラムされてもよい。コントローラ220は、ソフトウェア、ハードウェア、またはそれらのある組み合わせとして提供されてもよい。例えば、システムは、Intel Corporation (Santa Clara, Calif.)製Pentium (登録商標)またはCeleronファミリーのプロセッサ、Motorola Corporation (Schaumburg, Ill.)製680x0およびPOWER PCファミリーのプロセッサ、ならびに/またはAdvanced Micro Devices, Inc. (Sunnyvale, Calif.)製ATHLONラインのプロセッサ等の1つまたは複数のプロセッサを含むCPU基板を有するPC等の1つまたは複数の従来のサーバクラスコンピュータ上で実装されてもよい。プロセッサはまた、前述の方法に関連するプログラムおよび/またはデータを記憶するためのメインメモリユニットを含んでもよい。メモリは、1つまたは複数の特定用途向け集積回路(ASIC)、フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)、電氣的に消去可能なプログラマブル読取専用メモリ(EEPROM)、プログラマブル読取専用メモリ(PROM)、プログラマブル論理デバイス(PLD)、もしくは読取専用メモリデバイス(ROM)等の一般に利用可能なハードウェア上に存在するランダムアクセスメモリ(RAM)、読取専用メモリ(ROM)、および/またはフラッシュメモリを含んでもよい。いくつかの実施形態では、プログラムは、光ディスク、磁気ディスク、ならびに他の一般的に使用される記憶デバイス等の外部RAMおよび/またはROMを使用して提供されてもよい。機能が1つまたは複数のソフトウェアプログラムとして提供される実施形態に関して、プログラムは、FORTRAN、PASCAL、JAVA(登録商標)、C、C++、C#、BASIC、種々のスクリプト言語、および/またはHTML等のいくつかの高水準言語のうちいずれかにおいて書かれてもよい。加えて、ソフトウェアは、標的コンピュータ上に存在するマイクロプロセッサに向けられるアセンブリ言語において実装されてもよく、例えば、ソフトウェアは、IBM PCまたはPCクローン上において作動するように構成される場合、Intel 80x86アセンブリ言語において実装されてもよい。ソフトウェアは、フロッピー(登録商標)ディスク、ジャンプドライブ、ハードディスク、光ディスク、磁気テープ、PROM、EPROM、EEPROM、フィールドプログラマブルゲートアレイ、またはCD-ROMを含むが、それらに限定されない、製造品上に組み込まれてもよい。

【0027】

図2Cに示されるように、変形可能鏡210は、放物線状であり得(すなわち、全体または一部が実質的に放物線状である反射表面を有する)、そのような変形可能鏡自体は、(別個の集束レンズ110を用いることさえなしに)レーザシステム200の所望の出力BPPに応じて、1つまたは複数の入力ビーム105(入力ビーム105のそれぞれの全体または部分が変形可能鏡210の表面の変更を介して操作され得る)をファイバ115の種々の領域に集束してもよい。

【0028】

図3Aおよび図3Bを参照すると、本発明の種々の実施形態による例示的レーザシステム300では、1つまたは複数の入力ビーム105(単数または複数)が光ファイバ115の中へ集束させられる点および/または集束ビームのスポットサイズを変更するために、グレーデッドインデックス(つまり「GRIN」)レンズ310が利用される。図3A

10

20

30

40

50



に示されるように、公称条件では、入力ビーム105（単数または複数）は、GRINレンズ310によってファイバ115のコア125の中へ集束させられ、したがって、出力BPPを最小限にする。示されるような図3Aの公称条件では、入力ビーム105（単数または複数）は、GRINレンズ310とファイバ115との間の界面における入力ビーム105（単数または複数）のスポットサイズが最小限化されてコア125の中へ指向されるように、GRINレンズ310内で伝搬する。図3Bに示されるように、GRINレンズ310は、GRINレンズ310とファイバ115との間の界面における入力ビーム105（単数または複数）のスポットサイズが変更される（例えば、より大きい）ように、操作（または、矢印320によって示される「妨害」もしくは「摂動」）されてもよい。示されるように、図3Bで描写される条件では、入射光の一部が、クラッド130の中へ（またはマルチコアおよび/またはマルチクラッドファイバ内の別のコアおよび/またはクラッドの中へ）結合され、それによって出力BPPが増加する。種々の実施形態では、GRINレンズ310が妨害されるとき、1つまたは複数の光学性質（例えば、屈折率）が、GRINレンズ310の少なくとも一部において変化する。例えば、GRINレンズ310は、レンズの一部の局所加熱および/またはレンズの一部内の放射の局所吸収を介して妨害されてもよい。いくつかの実施形態では、GRINレンズ310の全体または一部は、音響光学効果を呈する材料を含み、またはそれから成り、音響変換器が、GRINレンズ310の光学性質を変更するために利用されてもよい。例えば、GRINレンズ310は、溶融シリカ、ニオブ酸リチウム、三硫化ヒ素、二酸化テルル、テルライトガラス、ケイ酸鉛、および/または別の音響光学材料を含んでもよい、またはそれらから成ってもよい。同様に、電場が、音響光学効果を呈するGRINレンズ310に、その屈折率を変更するように印加されてもよく、それによって、出力BPPを変更するようにレンズを十分に妨害する。

#### 【0029】

図3Bに示されるように、GRINレンズ310に歪みを導入する手段（例えば、局所加熱器、レンズの中へ指向される放射源、レンズの光学性質を変更する音響光学変調器および/または変換器、またはレンズの光学性質を変更する電気光学変調器および/または変換器のうちの少なくとも1つ）は、コントローラ220に回答する。コントローラ220は、従来のであり得、必要以上の実験を伴わずに、所望の出力BPPに回答して歪み導入手段を導入および/または制御するように構成されてもよい。

#### 【0030】

図4Aおよび図4Bを参照すると、本発明の種々の実施形態による例示的レーザシステム400では、調節可能集束レンズ410が利用されることにより、例えば、レンズ410の焦点を変更するためのレンズ410の操作を介して、1つまたは複数の入力ビーム105が光ファイバ115の中へ集束させられる点および/または集束させられたビーム（単数または複数）のスポットサイズを変更する。図4Aに示されるように、公称条件では、入力ビーム（単数または複数）105は、調節可能レンズ410によってファイバ115のコア125の中へ集束させられ、したがって、出力BPPを最小限にする。示されるような図4Aの公称条件では、入力ビーム105（単数または複数）は、焦点が端部キャップ120とファイバ115との間の界面に配置されるように集束させられ、したがって、入力ビーム（単数または複数）のスポットサイズが最小限にされてコア125の中へ指向される。図4Bに示されるように、調節可能レンズ410は、レンズ410の焦点距離が変化するように操作（または「妨害」もしくは「摂動」）されてもよい。例えば、図4Bに示されるように、焦点距離は、入力ビームが端部キャップ120の大部分内の点で集束させられるように減少させられてもよく、それによって、端部キャップ120とファイバ115との間の界面におけるスポットサイズを増大させる。したがって、図4Bで描写される条件では、入射光の一部が、クラッド130の中へ（またはマルチコアおよび/またはマルチクラッドファイバ内の別のコアおよび/またはクラッドの中へ）結合され、それによって、出力BPPを増加させる。調節可能レンズ410は、例えば、加熱源420からレンズ410への熱の印加によって摂動されてもよい。示されるように、加熱源42

10

20

30

40

50

0 は、コントローラ 220 に応答する。コントローラ 220 は、従来的であり得、必要以上の実験を伴わずに、所望の出力 B P P に応答して、熱を導入し、かつ/または加熱源 420 によって提供される加熱レベルを制御するように構成されてもよい。

#### 【0031】

図 5 A および図 5 B を参照すると、本発明の種々の実施形態による例示的レーザーシステム 500 では、調節可能端部キャップ 510 が利用されることにより、例えば、端部キャップ 510 の光学性質（例えば、屈折率）を変更するための端部キャップ 510 の操作を介して、1 つまたは複数の入力ビーム 105 が光ファイバ 115 の中へ集束させられる点および/または集束されたビーム（単数または複数）のスポットサイズを変更する。図 5 A に示されるように、公称条件では、入力ビーム（単数または複数）105 は、レンズ（図示せず）によって、端部キャップ 510 の中およびファイバ 115 のコア 125 の中へ集束させられ、したがって、出力 B P P を最小限にする。示されるような図 5 A の公称条件では、入力ビーム（単数または複数）105 は、焦点が端部キャップ 120 とファイバ 115 との間の界面に配置されるように集束させられ、したがって、入力ビーム（単数または複数）のスポットサイズが最小限にされてコア 125 の中へ指向される。図 5 B に示されるように、調節可能端部キャップ 510 は、入力ビーム（単数または複数）の焦点が変化するように操作（または「妨害」もしくは「摂動」）されてもよい。例えば、図 5 B に示されるように、焦点は、光ファイバ 115 内の点まで移動させられてもよく、それによって、端部キャップ 510 とファイバ 115 との間の界面におけるスポットサイズを増大させる。したがって、図 5 B で描写される条件では、入射光の一部が、クラッド 130 の中へ（またはマルチコアおよび/またはマルチクラッドファイバ内の別のコアおよび/またはクラッドの中へ）結合され、それによって、出力 B P P を増加させる。調節可能端部キャップ 510 は、例えば、端部キャップ 510 への熱および/または圧力の印加によって摂動されてもよい。

#### 【0032】

図 5 B に示されるように、ファイバ端部キャップ 510 に歪みを導入する手段 520（例えば、局所加熱器、端部キャップの中へ指向される放射源、端部キャップの光学性質を変更する音響光学変調器および/または変換器、または端部キャップの光学性質を変更する電気光学変調器および/または変換器のうち少なくとも 1 つ）は、コントローラ 220 に応答する。コントローラ 220 は、従来的であり得、必要以上の実験を伴わずに、所望の出力 B P P に応答して歪み導入手段を導入および/または制御するように構成されてもよい。

#### 【0033】

図 6 A および図 6 B を参照すると、本発明の種々の実施形態による例示的レーザーシステム 600 では、光ファイバ 115 の入口における入力ビーム（単数または複数）105 のスポットサイズを変更するために、グレーデッドインデックス（または「グラディエントインデックス」もしくは「グラディエント」）光ファイバが利用される。当技術分野で公知であるように、グラディエントインデックスファイバは、コアがファイバの光軸からの半径方向距離が増加するにつれて減少する屈折率を有する光ファイバである。ファイバ軸により近いコアの部分がクラッドの付近の部分よりも高い屈折率を有するため、光線は、グラディエントインデックスファイバを下って正弦曲線経路を辿る。グレーデッドインデックスファイバ 610 内の屈折率プロファイルは、例えば、実質的に放物線状であり得る。したがって、グラディエントインデックスファイバ 610 を通して伝搬されるビームのスポットサイズは、例えば、本明細書に説明される開口数変更技法のうちの一つを使用して、グラディエントインデックスファイバ 610 の中へ結合される入力ビームの開口数の制御を介して制御されてもよい。図 6 A に示されるように、小さい開口数（すなわち、小さい発散）を有する 1 つまたは複数の入力ビーム 105 は、グラディエントファイバ 610 を通って伝搬し、ビームの実質的に全体がファイバ 115 のコア 125 の中へ結合されるように集束させられる小さいスポットサイズを生成する。図 6 B に示されるように、より大きい開口数（すなわち、より大きい発散）を有する 1 つまたは複数の入力ビーム 10

10

20

30

40

50

5は、グラディエントファイバ610を通して伝搬し、ビームの一部がファイバ115のクラッド130の中へ結合されるように集束させられるより大きいスポットサイズを生成し、それによって、出力BPPを変更する(ここでは増加させる)。グラディエントファイバ610は、例えば、約100mm未満の長さを有してもよい。

#### 【0034】

本発明の種々の実施形態によると、レーザシステムの出力量BPPは、光ファイバの中へ結合される光の少なくとも一部が、ファイバのコアではなく、1つまたは複数のクラッド層内で(かつ/または複数のコアを有するファイバについてはファイバの別のコア内で)伝搬するよう誘導されるように、入力波面分布(すなわち、入力ビーム品質)の制御を介して、可変的に制御されてもよい。例えば、図7Aおよび図7Bは、1つまたは複数の入力ビーム105が光ファイバ115の中へ集束させられる点を変更するために変形可能鏡210が利用される、本発明の種々の実施形態による例示的レーザシステム700を描写する。図7Aに示されるように、公称条件では、入力ビーム(単数または複数)105は、変形可能鏡210および集束レンズ110によってファイバ115のコア125の中へ集束させられ、したがって、出力BPPを最小限にする。図7Bに示されるように、変形可能鏡210は、位相誤差が入力ビーム105に導入されるように、(例えば、変形可能鏡210の表面上の1つまたは複数の点の角度および/または高さを変更することによって)操作されてもよい。位相誤差は、入力ビーム105のビーム品質を変化させ、したがって、光の一部がクラッド130の中へ波及し、出力BPPを増加させる。

#### 【0035】

図7Aおよび図7Bに示されるように、変形可能鏡210および/またはその部分を變形させるアクチュエータのレイは、コントローラ220に回答し、それによって、位相誤差を入力ビームに導入するように、変形可能鏡210の反射表面の構造を変更する。コントローラ220は、当業者による必要以上の実験を伴わずに、特定の鏡面構造を介して、所望の位相誤差(したがって、所望の出力量BPP)を達成するようにプログラムされてもよい。

#### 【0036】

上記で説明されるレーザシステム(および別様に指示されない限り本明細書に説明される全てのレーザシステム)は、単一の入力ビームまたは複数の入力ビームとともに利用されてもよいが、本発明の種々の実施形態は、有利なこととして、レーザシステムの出力量BPPを制御可能に変動させるために複数の入力ビームを利用する。図8Aおよび図8Bは、変形可能鏡210が複数の入力ビームと併せて利用される例示的レーザシステム800を描写する。図8Aおよび図8Bは、3つの入力ビーム105-1、105-2、105-3の使用を描写するが、本発明の実施形態は、所望に応じて、2つの入力ビームまたは3つよりも多い入力ビームを利用してもよい。レーザシステム800では、変形可能鏡210は、入力ビーム105のうちの1つまたは複数のものが光ファイバ115の中へ集束させられる点を変更するために利用される。図8Aに示されるように、公称条件では、入力ビーム105-1、105-2、105-3は、変形可能鏡210および集束レンズ110によって、単一の焦点に、かつファイバ115のコア125の中へ集束させられ、したがって、出力BPPを最小限にする。図8Bに示されるように、変形可能鏡210は、位相誤差が入力ビーム105-3に導入されるように、(例えば、変形可能鏡210の表面上の1つまたは複数の点の角度および/または高さを変更することによって)操作されてもよい。位相誤差は、入力ビーム105-3が集束レンズ110に伝播し、集束レンズ110を通るにつれて、入力ビーム105-3の軌道を変化させ、したがって、入力ビーム105-3は、入力ビーム105-1、105-2の焦点と異なる点に集束させられる。したがって、入力ビーム105-3の光の少なくとも一部は、入力ビーム105-1、105-2からの光がファイバに入射する場所と異なる点で光ファイバ115に入射し、それによって、複合出力ビームのBPPを増加させる。例えば、図8Bに示されるように、入力ビーム105-3の光が、クラッド層130(またはマルチクラッドファイバについては1つまたは複数のクラッド層、および/またはマルチコアファイバについては1つ

または複数の他のコア)上に集束させられてもよい一方で、入力ビーム105-1、105-2の光は、コア125上に集束させられてもよい。

【0037】

図8Aおよび図8Bに示されるように、変形可能鏡210および/またはその部分を変形させるアクチュエータのレイは、コントローラ220に回答し、それによって、入力ビームのうちの1つまたは複数のものに位相誤差を導入するように、変形可能鏡210の反射表面の構造を変更する。コントローラ220は、当業者による必要以上の実験を伴わずに、特定の鏡面構造を介して、所望の位相誤差(したがって、所望の出力BPP)を達成するようにプログラムされてもよい。

【0038】

入力ビームのビーム品質もまた、種々の入力ビームの間隔の変更を介して変化させられてもよい(それによって、出力BPPの制御可能な変動を可能にする)。図9Aおよび図9Bは、入力ビーム105-1、105-2、105-3の間隔が、光ファイバ115の中へ結合される入力ビーム品質(すなわち、発散)を変化させるように変動させられる、例示的レーザーシステム900を描写する。図9Aは、比較的狭い間隔910-1によって分離されている入力ビーム105-1、105-2、105-3を描写し、これは、比較的小さい発散角度920-1で集束レンズ110によってファイバ115の中へ集束させられる入力ビームをもたらす。ファイバ115の中への比較的小さい入射角度は、より小さい出力BPPをもたらす。図9Bは、間隔910-1より大きい間隔910-2によって分離されている入力ビーム105-1、105-2、105-3を描写し、これは、発散角度920-1より大きい発散角度920-2で集束レンズ110によってファイバ115の中へ集束させられる入力ビームをもたらす。ファイバ115の中へのより大きい入射角度は、より大きい出力BPPをもたらす。このようにして、レーザーシステム900の出力BPPは、ファイバ115の中へ結合される入力ビーム間隔を変動させることによって、変動させられてもよい。一般に、入力ビーム間隔は、ファイバに入射する集束ビームの発散角度がファイバ115の受光角度を超えないように変動させられてもよい。種々の実施形態では、ファイバ115の受光角度  $\theta_{accept}$  は、方程式

【0039】

【数1】

$$n \sin \theta_{accept} = \sqrt{n_{core}^2 - n_{clad}^2}$$

【0040】

によって計算されてもよく、式中、 $n$ は、光ビームがファイバに入射している媒体の屈折率(例えば、空気または端部キャップ120の屈折率)であり、 $n_{core}$ は、ファイバのコア(または中心光軸)の屈折率であり、 $n_{clad}$ は、ファイバのクラッドの屈折率である。

【0041】

図9Cは、入力ビーム105-1、105-2、105-3が最初により小さい間隔910-1によって分離される、図9Aのレーザーシステム900の集束レンズにおける3つの入力ビームの概略図である。示されるように、ファイバ115に入射するとき、3つの入力ビームは、ともに比較的近くに離間され、レーザーシステムの出力BPPを低減させる(または最小限にしさえする)。図9Dは、図9Aのレーザーシステム900の出力ビームの1つの例示的プロファイルを示す。

【0042】

対照的に、図9Eは、入力ビーム105-1、105-2、105-3が最初により大きい間隔910-2によって分離される、図9Bのレーザーシステム900の集束レンズにおける3つの入力ビームの概略図である。示されるように、ファイバ115に入射するとき、3つの入力ビームは、比較的遠くに離れ、レーザーシステムの出力BPPを増加させる。図9Fは、図9Bのレーザーシステム900の出力ビームの1つの例示的プロファイルを示す。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 3 】

図 9 G は、レーザシステム 9 0 0 の入力ビームの間隔を変動させるための例示的技法を概略的に描写する。図 9 G では、複数の個々のエミッタ 9 3 0 はそれぞれ、入力ビーム 1 0 5 を放出し、複数の入力ビーム 1 0 5 は、最初にその間に間隔 9 4 0 を伴って伝搬している。入力ビーム 1 0 5 は、1 つまたは複数の再指向要素（例えば、鏡、レンズ等）9 5 0 によって再指向され、再指向後に、入力ビーム 1 0 5 は、間隔 9 4 0 と異なる（図 9 G ではそれより小さい）間隔 9 1 0 で離間される。再指向要素 9 5 0 は、入力ビーム 1 0 5 のうちの 2 つまたはそれより多いもの間に所望の間隔 9 1 0 を生成するように、個別的または集合的に平行移動および/または回転させられてもよい。上記で詳述されるように、間隔 9 1 0 は、レーザシステム 9 0 0 の出力 B P P に直接影響を及ぼす入射角度 9 2 0 10 をもたらす。再指向要素 9 5 0 は、個々の別個の要素であってもよく、または鏡（例えば、変形可能鏡）もしくはレンズ等のより大きい再指向要素の個々の部分またはセグメントであってもよい。加えて、入力ビーム 1 0 5 が、再指向要素 9 5 0 による再指向の前および後に実質的に平行なように示されているが、本発明の種々の実施形態では、入力ビームの間の伝搬角度も変動させられてもよく、それによって、個々のビームがファイバ 1 1 5 に向かって集束するために集束レンズ 9 1 0 に衝突する点を変動させる。図 8 B に示されるように、そのような配列は、ファイバ 1 1 5 の異なる領域（例えば、1 つまたは複数のクラッド層および/または 1 つまたは複数のコア）上への 1 つまたは複数の入力ビーム（もしくはそれらの部分）の選択的集束を可能にしてもよい。

## 【 0 0 4 4 】

図 9 H および図 9 I に示されるように、光ファイバの中への入力ビームの入射角度は、入力ビームの間隔が実質的に不変であるときでさえも変動させられてもよい。示されるように、経路調節器 9 6 0 は、1 つまたは複数の入力ビーム 1 0 5 の伝搬経路を調節するために利用されてもよい。経路調節器 9 6 0 は、例えば、プリズム、グレーティング、レンズ等を含んでもよい、または本質的にそれらから成ってもよい。経路調節器 9 6 0 は、単一の物体として図 9 H および図 9 I で描写されているが、種々の実施形態では、経路調節器 9 6 0 は、（例えば、図 9 J に示されるように）それぞれが 1 つまたは複数の入力ビームを受け取る個別に制御可能（例えば、回転可能および/または平行移動可能）な経路調節器の集合を含む、または本質的にそれらから成る。図 9 H に示されるように、公称上の場合、経路調節器 9 6 0 は、入力ビーム 1 0 5 の伝搬経路を変更せず、入力ビーム 1 0 30 5 は、後にレンズ 1 1 0 によって入射角度 9 2 0 - 3 でファイバ 1 1 5 の中へ集束させられる。図 9 I では、経路調節器 9 6 0 は、入力ビーム 1 0 5 が経路調節器 9 6 0 を通過するときに、入力ビーム 1 0 5 が経路調節器 9 6 0 内の経路 9 7 0 に沿って伝搬し、それらの伝搬経路を変更させた経路調節器 9 6 0 から出射するように回転させられる。示されるように、入力ビーム 1 0 5 は、後に異なる空間場所で集束レンズ 1 1 0 に衝突し、角度 9 2 0 - 3 と異なる入射角度 9 2 0 - 4 で光ファイバ 1 1 5 の中への入力ビーム 1 0 5 の内部結合をもたらす、それによって、レーザシステム 9 0 0 の出力 B P P を変更する。

## 【 0 0 4 5 】

図 9 J は、入力ビーム間隔および個々の入力ビームの伝搬経路が両方とも変動させられ得る例示的レーザシステム 9 0 0 を描写する。示されるように、各入力ビーム 1 0 5 40 は、その伝搬経路を経路調節器 9 6 0 によって調節され、それによって、種々の入力ビーム 1 0 5 間隔および/または入力ビームが光ファイバ 1 1 5 の中へ集束するために集束レンズ 1 1 0 に衝突する場所を変化させる。図 9 J に示される実施例では、経路を調節された入力ビーム 1 0 5 が、鎖線として現われる一方で、調節されていない入力ビーム 1 0 5 は、実線として現れる。いったん入力ビーム 1 0 5 が集束レンズ 1 1 0 に衝突すると、それらは、どの（および/またはいくつの）入力ビームがそれらの経路を調節されているか、および/またはどの程度それらが調節されているかに応じて変動し得る入射角度 9 2 0 - 5 で、ファイバ 1 1 5 の中へ集束させられる。

## 【 0 0 4 6 】

本発明の実施形態によるレーザシステムの入力ビームのビーム品質（したがって、B P 50

P) はまた、入力ビームのうちの1つまたは複数のもののパワー特性(パワー特性は、光ファイバの中へ内部結合される入力ビームのビーム品質に影響を及ぼす)を調節することによって、制御可能に変動させられてもよい。図10Aは、図9Bのレーザシステム900に類似する、本発明の実施形態による例示的レーザシステム1000を描写する。示されるように、入力ビーム105-1、105-2、105-3は、特定の間隔で離間され、集束レンズ110を介してファイバ115の中へ集束させられる。図10Bでは、入力ビーム105-3のパワー特性(例えば、出力パワー)が低減させられており、ファイバ115の中へ内部結合される複合ビームへのその寄与を低減させている。これは、ファイバ115の他方の端部において放出される、結果として生じる出力ビームのビーム品質(したがって、出力BPP)を変更する。いくつかの実施形態では、入力ビームのうちの1つまたは複数のものは、出力パワーが変動させられ、または完全に遮断さえされ、内部結合ビーム品質、したがって、レーザシステムの出力BPPの変化をもたらす。

10

## 【0047】

入力ビームのパワー特性は、入力ビームのそれぞれの種々のエミッタを制御するコントローラ220によって制御されてもよい。コントローラ220は、当業者による必要以上の実験を伴わずに、入力ビームのうちの1つまたは複数のもののパワー変調を介して、所望のビーム構造(したがって、所望の出力BPP)を達成するようにプログラムされてもよい。

## 【0048】

本発明の種々の実施形態では、入力ビーム品質は、入力ビームの偏光状態に基づいて変動させられる(出力BPPの変動につながる)。具体的には、入力ビームは、異なる偏光状態を有する成分に分離され、所望のパワーレベルを有する入力ビームに再結合される。次いで、再結合ビームのうちの1つまたは複数のものが、光ファイバの1つの領域(例えば、コア)上に集束させられてもよい一方で、1つまたは複数の他の再結合ビームは、光ファイバの異なる領域(例えば、クラッド)上に集束させられてもよく、2つの再結合ビームのパワーレベルの比に基づいて調節可能なBPPを有する出力ビームをもたらす。図11Aは、2つの直線偏光入力ビーム105-1、105-2が偏光に基づいて操作される、例示的レーザシステム1100を描写する。示されるように、2つの入力ビームは、入力ビームの光の偏光方向を変更する半波長板1105を通過する。具体的には、半波長板1105の回転は、入力ビームのそれぞれのパワーを、2つの異なる偏光状態、例えば、s偏光(または単純に「S」)およびp偏光(または単純に「P」)に割り付ける。従来技術で公知であるように、p偏光が、入射面(すなわち、伝搬方向および反射表面の平面と垂直なベクトルによって得られる平面)に沿ってその電場を有する一方で、s偏光は、入射面に垂直なその電場を有する。半波長板1105は、複屈折材料(シリカまたは雲母等)を含む、または本質的にそれから成り、複屈折材料の屈折率は、典型的には、複屈折材料を通過する光の異なる配向について異なる。半波長板1105を通過した後、入力ビームは、偏光子ビームスプリッタ1110(例えば、薄膜偏光子またはウォラストンプリズム)によって、S成分およびP成分、すなわち、その相対パワーが半波長板1105の回転によって選択された成分に分割される。(SおよびPは、このように選択可能である任意の2つの偏光状態の指定であることに留意されたい。)示されるように、P光が、偏光子ビームスプリッタ1110をまっすぐに通過する一方で、S光は、分割されて反射体1115に向かって指向される。次いで、S光およびP光は両方とも、光ファイバの中へ集束するために集束レンズ110に指向される(光ファイバ115は明確にするために図11Aおよび後続の図に描写されていない)。P光が、小さい開口数(または発散もしくはは入射角度)1120で光ファイバの中へ(例えば、そのコアの中へ)集束させられてもよい一方で、P光から空間的に分離されるS光は、より大きい開口数1125で光ファイバの中へ(例えば、そのクラッドの中へ)集束させられてもよい。このようにして、複合出力ビーム(したがって、そのBPP)へのS光およびP光の寄与は、単純に、半波長板1105を介してパワーを入力ビームに割り付けることによって変動させられてもよい。いくつかの実施形態では、S光が、ファイバコア上に集束させられる一方で、P光は、

20

30

40

50

ファイバクラッド上に集束させられる。他の実施形態では、入力ビームが偏光に基づいて分離され、それらの相対パワーが半波長板 1105 を介して割り付けられた後、S 光および P 光は、ファイバの異なる場所の中へ集束させられる前に、異なる光ビームを偏光解消する（例えば、ビームにランダム偏光または S 偏光および P 偏光の両方を付与する）偏光スクランブラ 1130 を通して指向されてもよい。偏光スクランブラは、例えば、4 分の 1 波長板を含んでもよい、または本質的にそれから成ってもよい。図 11B は、図 11A のレーザシステム 1100 のための開口数 1120、1125 内の入力ビームパワーの概略プロットを描写する。

#### 【0049】

図 11A のレーザシステム 1100 は、偏光状態によって、入力ビームを、実質的に空間的重複を含まない光ファイバの中へ内部結合されるビームに分離するが、ビームはまた、図 11C に示されるように、空間的に重複させられてもよい。図 11C では、入力ビーム 105-1、105-2 のパワーは、再度、半波長板 1105 の所望の回転を介して、S 偏光および P 偏光の間で割り付けられ、結果として生じるビームは、ビームディスプレイ 1135 によって S 成分および P 成分に分割される。一般に、直交偏光を有しかつ異なる角度で伝搬する偏光ビームに非偏光を分割するビームディスプレイ 1135 は、バナジウム酸イットリウム ( $YVO_4$ )、ホウ酸バリウム ( $LiB_3O_5$ )、方解石結晶、またはルチル等の物質の一軸結晶を含んでもよい、または本質的にそれから成ってもよい。入力ビームの S 成分および P 成分は、集束レンズ 110 によって、光ファイバの異なるが重複する領域上に集束させられ、S 光が、小さい開口数（または発散もしくは入射角度）1120 で光ファイバの中へ（例えば、そのコアの中へ）集束させられる一方で、P 光は、より大きい開口数 1125 で光ファイバの中へ（例えば、クラッドおよびコアの一部の中へ）集束させられ、P 光は、ファイバの中への入射時に S 光に重複する。図 11D は、2 つのビーム成分の間の重複を示す、開口数 1120、1125 間のパワー分布を概略的に描写する。図 11A のレーザシステム 1100 のように、出力 BPP は、半波長板 1105 による S 成分および P 成分の中への入力ビームパワーの相対的割付を介して、可変的に選択されてもよい。

#### 【0050】

図 11E は、入力ビーム 105-1、105-2 の総パワーの最大 50% が光ファイバのより大きい開口数 1125 に割り付けられ得、残りの部分がより小さい開口数 1120 に割り付けられる、本発明の実施形態による例示的レーザシステム 1100 を描写する。図 11E では、入力ビーム 105-1、105-2 は、最初に無作為に偏光され、および/または随意的偏光ランダムマイザ 1140（例えば、4 分の 1 波長板）を通過させられる。図 11A のように、次いで、入力ビームは、偏光ビームスプリッタ 1110 によって S 成分および P 成分に分割され、S 成分は、反射体 1115 に向かって指向される。次いで、反射した S 成分は、半波長板 1145 によって、S および P 偏光を両方とも有する光ビームに再偏光され、半波長板 1145 は、結果として生じる光ビームにおける S 偏光および P 偏光の相対量を選択するように回転させられる。再偏光されたビームは、より大きい開口数 1125 の中へ集束するために光ビームの P 成分を集束レンズ 110 に渡す第 2 の偏光ビームスプリッタ 1150 に指向される。このようにして、元の入力ビーム 150-1、150-2 のパワーの最大 50%（すなわち、偏光ビームスプリッタ 1110 によって S 偏光に最初に分割されるパワーの最大 100%）が、より大きい開口数 1125 に割り付けられてもよい。半波長板 1145 からの S 光は、偏光ビームスプリッタ 1150 から別の偏光ビームスプリッタ 1155 に指向され、そこで最初の偏光ビームスプリッタ 1110 から出射する P 光と再結合される。示されるように、再結合光は、より小さい開口数 1120 の中へ集束させられる。

#### 【0051】

図 11C と同様に、無作為に偏光された入力ビームを有するレーザシステム 1100 はまた、光の重複を伴って 2 つの開口数間に光パワーを割り付けてもよい。図 11F は、そのような例示的レーザシステム 1100 を描写し、そのシステム 1100 において、入力

10

20

30

40

50

ビーム105-1、105-2が最初に無作為に偏光され、および/または随意的偏光ランダマイザ1140(例えば、4分の1波長板)を通過させられる。図11Cのように、ビームは、入力ビームをS成分およびP成分に分割するビームディスプレーサ1135に指向される。これらの成分は、半波長板1160を通過し、次いで、ビーム結合器1165に伝搬する。典型的には、反対の様式で利用されるに過ぎない、ビームディスプレーサ1135と同一の光学成分を含む、または本質的にそれから成るビーム結合器1165は、その出力においてS成分およびP成分を再結合する。示されるように、半波長板1160の回転は、(いったん光が集束レンズ110によって集束させられると)入力ビーム105-1、105-2の初期パワーを、完全または部分的に、より小さい開口数1120およびより大きい開口数1125のそれぞれに割り付ける。

10

## 【0052】

図11Gおよび図11Hは、図11Fで描写されるレーザシステム1100の2つの極端な場合を概略的に描写する。図11Gでは、半波長板1160は、例えば、0度または90度で回転させられ、したがって、入力ビーム105-1、105-2の初期パワーの全ては、より小さい開口数1120に割り付けられる。図11Hでは、半波長板1160は、例えば、45度で回転させられ、したがって、入力ビーム105-1、105-2の初期パワーの全ては、より大きい開口数1125に割り付けられる。

## 【0053】

本発明の種々の実施形態によると、入力ビーム光は、マルチクラッド光ファイバの異なるクラッド層の間のパワー割付のために、偏光に基づいて分離されてもよい。図11Iは、分離したS成分およびP成分が(相互と平行に伝搬するよりもむしろ)その間のゼロではない角度1170で集束レンズ110に向かって伝搬するように、反射体1115が傾転させられることを除いて、図11Aのものに類似する例示的レーザシステム1100を描写する。上記で説明されるように、半波長板1105の回転は、入力ビーム105-1、105-2の総パワーを2つの偏光状態の間で割り付け、その一方は、点1175に(例えば、光ファイバのコアに)集束させられ、その他方は、(角度1170により)点1175と異なる点1180に(例えば、光ファイバのクラッド層、例えば、内側クラッド層を取り囲む外側クラッド層に)集束させられる。同様に、図11Jは、分離されたS成分およびP成分が(相互と平行に伝搬するよりもむしろ)その間のゼロではない角度1170で集束レンズ110に向かって伝搬するように、ビームディスプレーサの表面1185がある角度で切断される(または「楔状にされる」)ことを除いて、図11Cのものに類似する例示的レーザシステム1100を描写する。上記で説明されるように、半波長板1105の回転は、入力ビーム105-1、105-2の総パワーを2つの偏光状態の間で割り付け、その一方は、点1175に(例えば、光ファイバのコアに)集束させられ、その他方は、(角度1170により)点1175と異なる点1180に集束させられる。図11Kは、図11Iおよび11Jで描写されるレーザシステム1100に対するファイバ115内の空間領域中のパワー分布の例示的プロットを描写する。示されるように、点1175に指向される光が、ファイバのコア125の中へ内部結合される一方で、点1180に指向される光は、第1のクラッド層130-1を取り囲む第2のクラッド層130-2の中へ結合される。他の実施形態では、点1180に指向される光は、マルチコア/マルチクラッドファイバの第2のコアまたは異なるクラッドの中へ結合されてもよい。これらの実施例は、直線偏光入力光を利用する図11Aおよび図11Cのレーザシステムの変形例であるが、同一の原理は、無作為偏光入力光を利用する図11Eおよび図11Fのシステムに適用されてもよい。

20

30

40

## 【0054】

図12Aは、半波長板1145の回転が、入力ビーム105-1、105-2の総パワーを、完全または部分的に、より小さい開口数1120またはより大きい開口数1125に割り付ける、図11Eで描写されるレーザシステム1100に機能的に類似する例示的レーザシステム1200を描写する。図12Aのレーザシステム1200では、無作為に偏光されるか、または4分の1波長板(図示せず)等の偏光ランダマイザを最初に通過す

50



るかのいずれかであり得る入力ビームが、偏光ビーム分割表面 1 2 1 0 と、高度反射表面 1 2 1 5 とを有する実質的に光学的に透明な板 1 2 0 5 に伝搬する。示されるように、偏光ビーム分割表面 1 2 1 0 は、入力ビームを S 成分および P 成分に分割し、S 成分は、偏光ビーム分割表面 1 2 1 0 から半波長板 1 1 4 5 に向かって反射し、P 成分は、板 1 2 0 5 を通って伝搬し、反射表面 1 2 1 5 によって半波長板 1 1 4 5 に向かって反射される。本明細書に説明されるように、半波長板 1 1 4 5 の回転は、総パワーを S 成分および P 成分に割り付け、それらは次いで、偏光ビーム分割表面 1 2 2 5 と、高度反射表面 1 2 3 0 とを有する第 2 の実質的に光学的に透明な板 1 2 2 0 に伝搬する。示されるように、板 1 2 2 0 (および/またはその反射表面および/または偏光ビーム分割表面) は、板 1 2 0 5 (および/またはその反射表面および/または偏光ビーム分割表面) と略平行である。板 1 2 2 0 の表面 1 2 2 5、1 2 3 0 との光の相互作用は、半波長板 1 1 4 5 を介して割り付けられる光を、集束レンズ 1 1 0 によってより小さい開口数 1 1 2 0 およびより大きい開口数 1 1 2 5 の中へ集束させられる成分に再分配する。

10

#### 【 0 0 5 5 】

図 1 2 B は、図 1 2 A のレーザシステム 1 2 0 0 に類似する、本発明の実施形態による例示的レーザシステム 1 2 0 0 を描写する。図 1 2 B のレーザシステム 1 2 0 0 では、実質的に光学的に透明な板 1 2 0 5、1 2 2 0 (および/またはそれらの反射表面および/または偏光ビーム分割表面) は、反対角度、すなわち、ゼロ度から同一の回転距離であるが反対方向の角度で配列される。そのような配列は、板を相互に対してより容易に構成させ、集束レンズ 1 1 0 に入射する光は、概して、元の入力ビーム 1 0 5 - 1、1 0 5 - 2 のものと同じ経路に沿って伝搬する。図 1 2 A のレーザシステム 1 2 0 0 のように、入力ビーム 1 0 5 - 1、1 0 5 - 2 は、板 1 2 0 5 に伝搬し、S 成分および P 成分に分割され、半波長板 1 1 4 5 に向かって反射する。半波長板 1 1 4 5 の回転は、パワーを S 成分および P 成分の間で割り付け、それらは次いで、反射体 1 2 3 5 によって板 1 2 2 5 に向かって反射される。図 1 2 A のレーザシステム 1 2 0 0 のように、割り付けられたビームは、集束レンズ 1 1 0 によって、より小さい開口数 1 1 2 0 およびより大きい開口数 1 1 2 5 の中へ集束させられる。

20

#### 【 0 0 5 6 】

図 1 2 C は、本発明の種々の実施形態による、類似レーザシステム 1 2 0 0 を描写する。示されるように、入力ビーム 1 0 5 は、板 1 2 0 5 に向かって指向され、S 成分および P 成分に分割され、S 成分および P 成分は、反射体 1 2 4 0 に反射され、そこから半波長板 1 1 4 5 に反射される。半波長板 1 1 4 5 の回転は、パワーを S 成分および P 成分の間で割り付け、それらは次いで、反射体 1 2 4 5 によって板 1 2 2 5 に向かって反射される。図 1 2 C のレーザシステム 1 2 0 0 では、板 1 2 0 5、1 2 2 0 および/または反射体 1 2 4 0、1 2 4 5 は、反対角度で配置される。図 1 2 A のレーザシステム 1 2 0 0 のように、割り付けられたビームは、集束レンズ 1 1 0 によって、より小さい開口数 1 1 2 0 およびより大きい開口数 1 1 2 5 の中へ集束させられる。

30

#### 【 0 0 5 7 】

本明細書で採用される用語および表現は、限定ではなく、説明の観点として使用され、そのような用語および表現の使用において、図示および説明される特徴またはその一部の均等物のいずれかを除外する意図はなく、種々の修正が、請求される本発明の範囲内で可能であることを認識されたい。

40

【 図 1 】

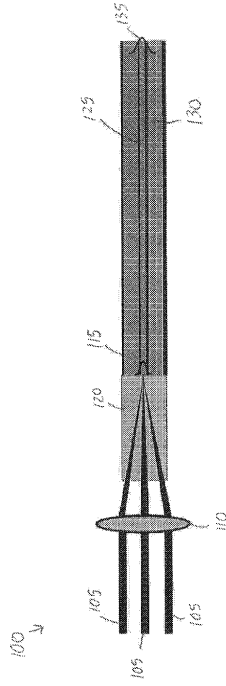


FIG. 1

【 図 2 A 】

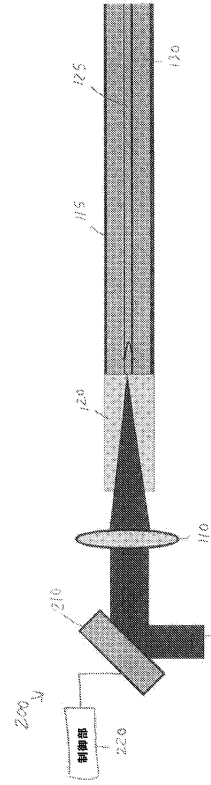


FIG. 2A

【 図 2 B 】

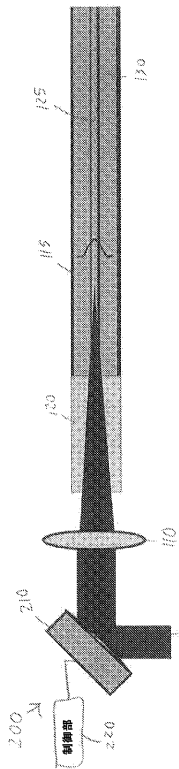


FIG. 2B

【 図 2 C 】

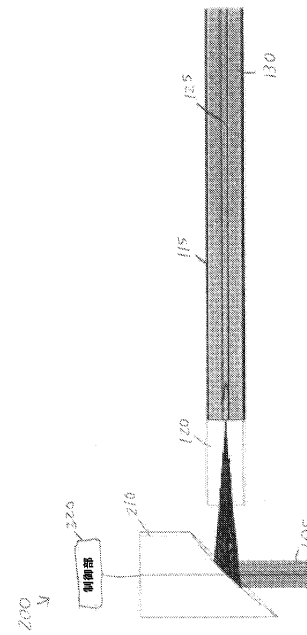


FIG. 2C

【 図 3 】

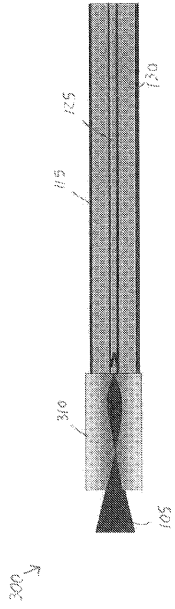


FIG. 3A

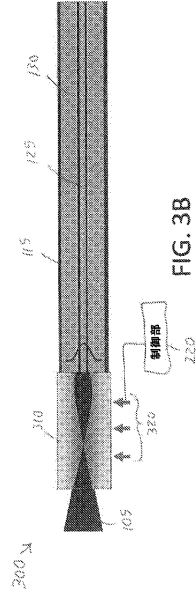


FIG. 3B

【 図 4 】

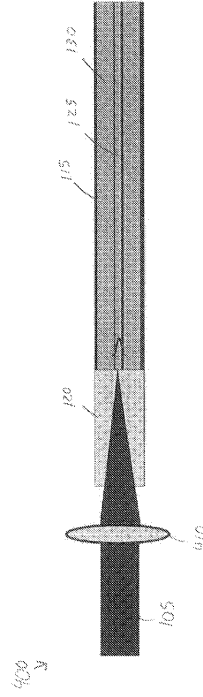


FIG. 4A

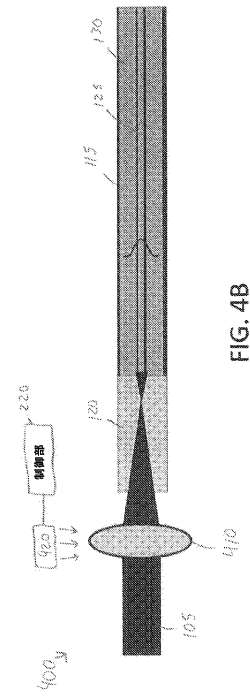


FIG. 4B

【 図 5 】

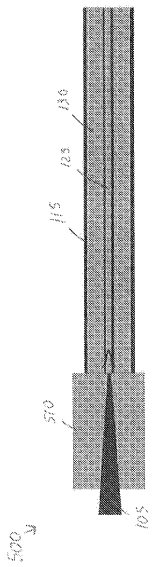


FIG. 5A

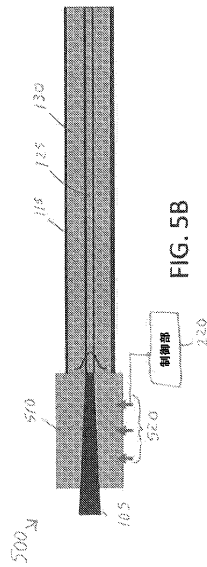


FIG. 5B

【 図 6 A 】

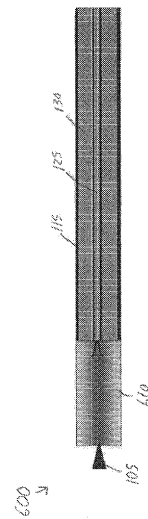


FIG. 6A

【 図 6 B 】

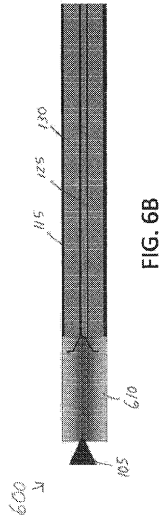


FIG. 6B

【 図 7 】

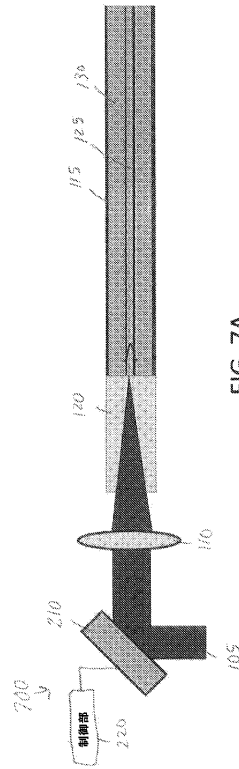


FIG. 7A

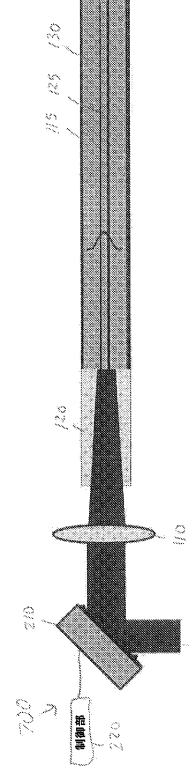


FIG. 7B

【 図 8 】

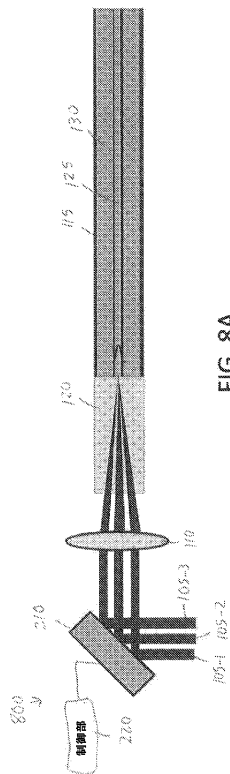


FIG. 8A

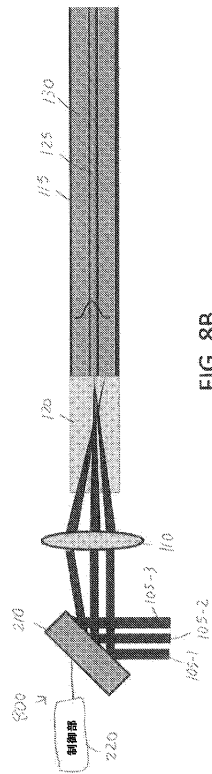


FIG. 8B

【 図 9 A 】

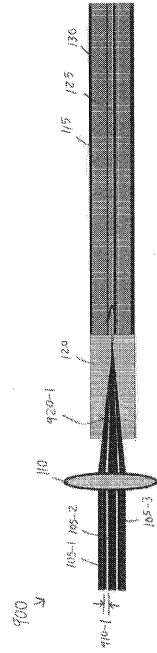


FIG. 9A

【 9 B 】

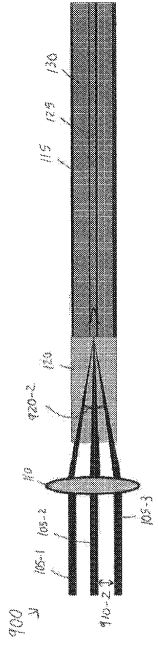


FIG. 9B

【 9 C 】

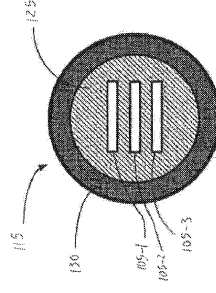


FIG. 9C

【 9 D 】



FIG. 9D

【 9 E 】

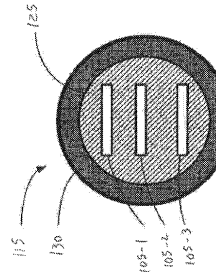


FIG. 9E

【 9 F 】

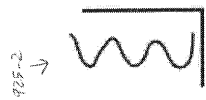


FIG. 9F

【 9 G 】

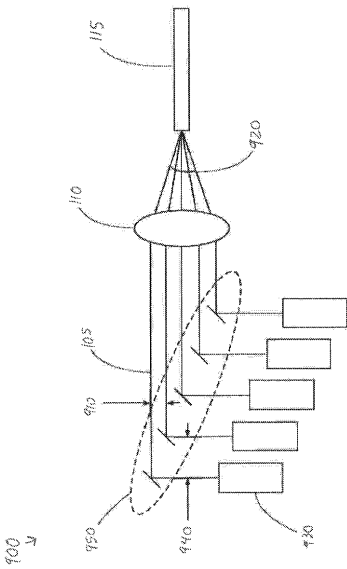


FIG. 9G

【 9 H 】

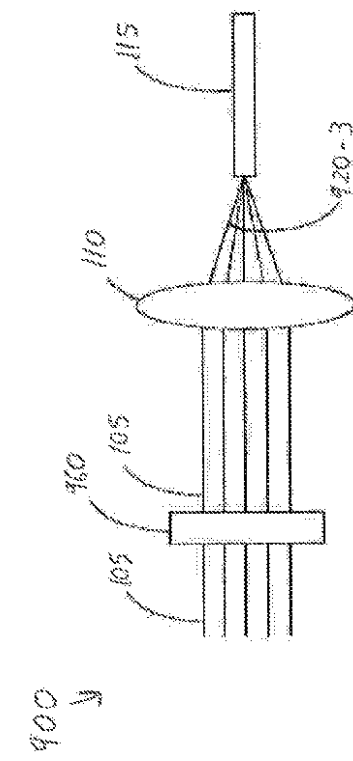


FIG. 9H

【 図 9 I 】

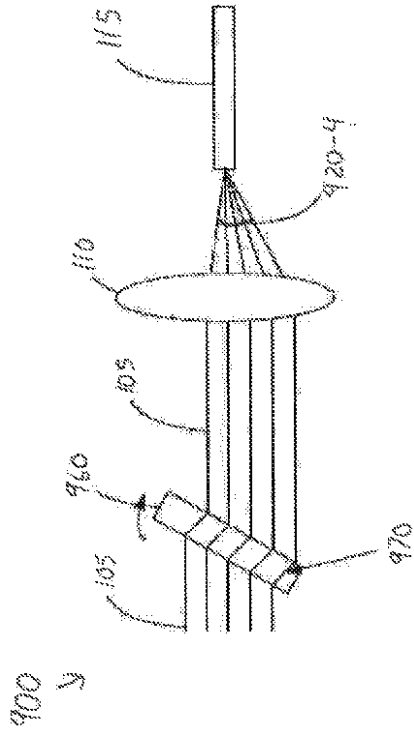


FIG. 9I

【 図 9 J 】

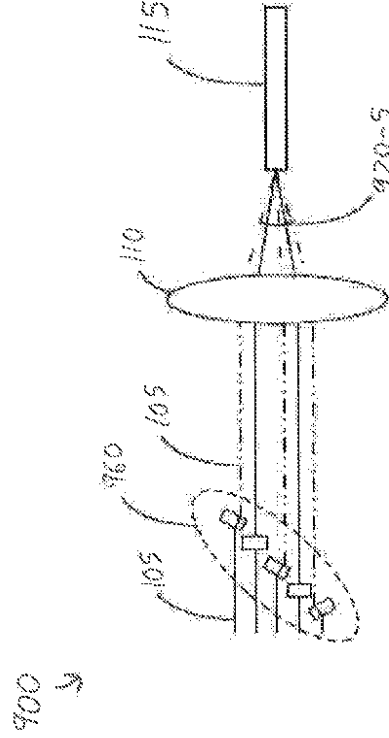


FIG. 9J

【 図 10 A 】

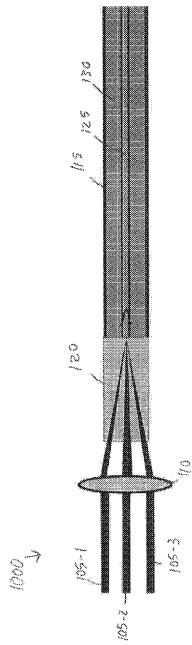


FIG. 10A

【 図 10 B 】

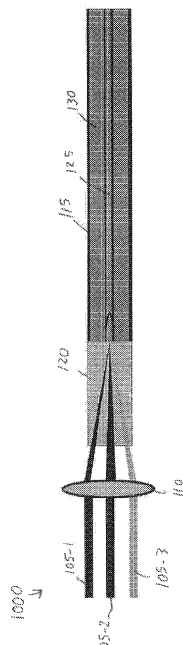


FIG. 10B

【 11A 】

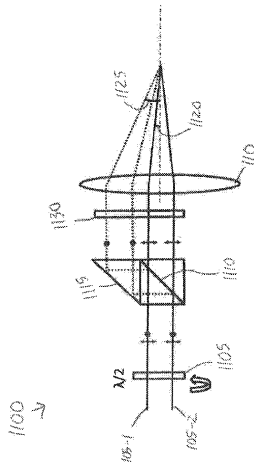


FIG. 11A

【 11C 】

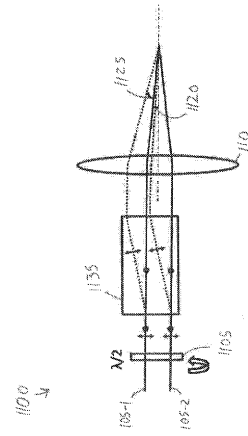


FIG. 11C

【 11B 】

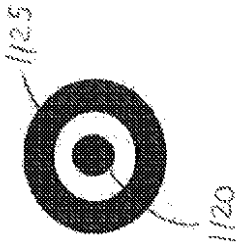


FIG. 11B

【 11D 】

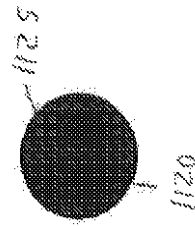


FIG. 11D

【 11E 】

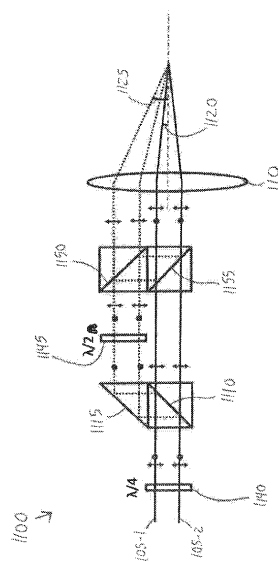


FIG. 11E

【 11F 】

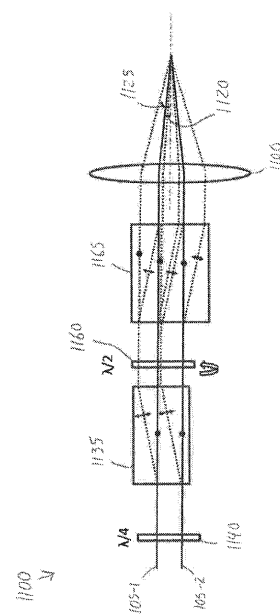


FIG. 11F

【 11 G 】

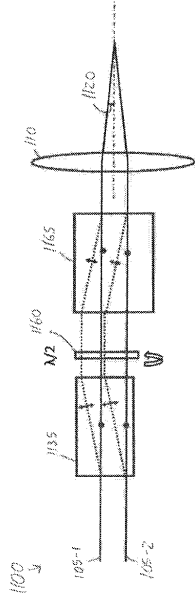


FIG. 11G

【 11 H 】

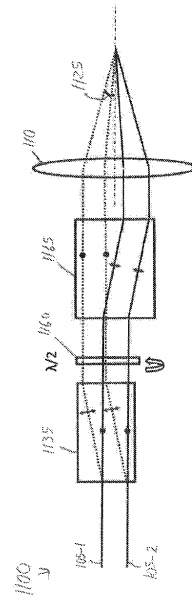


FIG. 11H

【 11 I 】

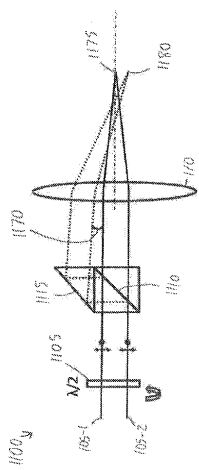


FIG. 11I

【 11 J 】

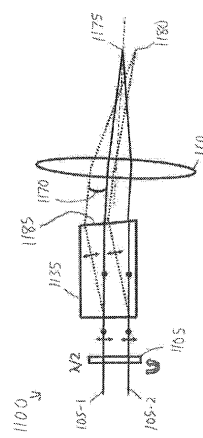


FIG. 11J



【 11K 】

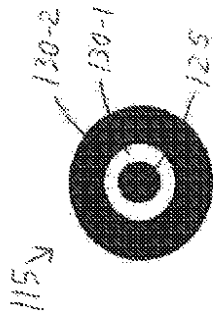


FIG. 11K

【 12A 】

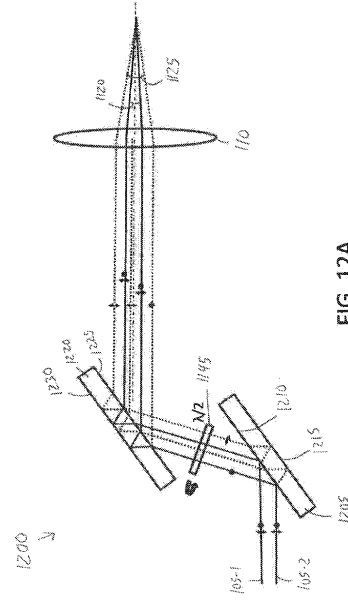


FIG. 12A

【 12B 】

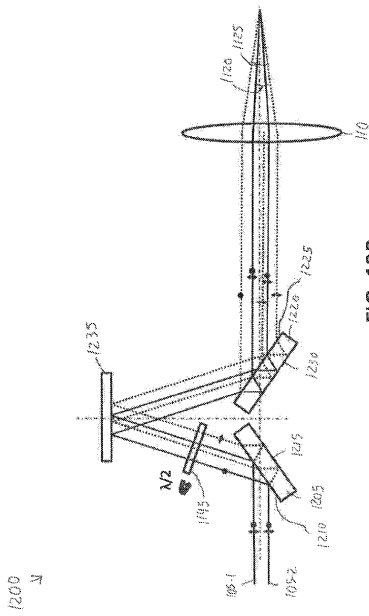


FIG. 12B

【 12C 】

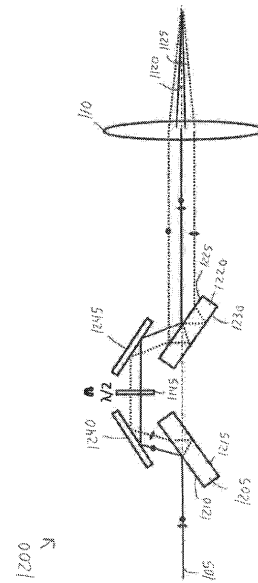


FIG. 12C

## フロントページの続き

- (51)Int.Cl. F I  
**G 0 2 B 6/32 (2006.01)** G 0 2 B 6/32  
**G 0 2 B 6/42 (2006.01)** G 0 2 B 6/42
- (73)特許権者 516254946  
 ロッホマン, ブライアン  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 0 2 1 4 3, サマービル, ハーバード ストリート 9
- (73)特許権者 516254957  
 ゴウ, ワン-ロン  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 0 1 8 1 0, アンダーバー, ファーウッド ドライブ  
 3 1
- (73)特許権者 516254968  
 ビジャレアル-ソーシード, フランシスコ  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ ミドルトン, フォレスト ストリート 1 0 8
- (73)特許権者 516254979  
 ザンブート, ジェイムズ  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 0 1 8 9 0, ウィンチェスター, ウェリントン ロード  
 8
- (74)代理人 100078282  
 弁理士 山本 秀策
- (74)代理人 100113413  
 弁理士 森下 夏樹
- (74)代理人 100181674  
 弁理士 飯田 貴敏
- (74)代理人 100181641  
 弁理士 石川 大輔
- (74)代理人 230113332  
 弁護士 山本 健策
- (72)発明者 チャン, ビエン  
 アメリカ合衆国 ニューハンプシャー 0 3 0 5 4, メリマック, ウッドワード ロード 7  
 2
- (72)発明者 タイェバティ, パルヴィス  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 0 1 7 7 0, シャーボーン, ファーム ロード 1 3 4
- (72)発明者 ファン, ロビン  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 0 1 8 6 2, ノース ビレリカ, ブリーン ロード 5
- (72)発明者 ロッホマン, ブライアン  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 0 2 1 4 3, サマービル, ハーバード ストリート 9
- (72)発明者 ゴウ, ワン-ロン  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 0 1 8 1 0, アンダーバー, ファーウッド ドライブ  
 3 1
- (72)発明者 ビジャレアル-ソーシード, フランシスコ  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ ミドルトン, フォレスト ストリート 1 0 8
- (72)発明者 ザンブート, ジェイムズ  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 0 1 8 9 0, ウィンチェスター, ウェリントン ロード  
 8

- (56)参考文献 特開2002-357788(JP,A)  
米国特許第05073830(US,A)  
特開2003-228025(JP,A)  
特開2010-117564(JP,A)  
特開昭63-043120(JP,A)  
特開2003-022967(JP,A)  
特表2012-515941(JP,A)  
米国特許出願公開第2013/0148925(US,A1)  
米国特許出願公開第2013/0215517(US,A1)  
特開2007-286481(JP,A)  
特開平7-301764(JP,A)  
特開2011-169969(JP,A)  
特開2004-6439(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K	26/00 - 26/70
G02B	6/26 - 6/27
	6/30 - 6/35
	6/42 - 6/43
	26/00 - 26/08
	27/00 - 27/64
G02F	1/00 - 1/125
	1/21 - 7/00