

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6244308号
(P6244308)

(45) 発行日 平成29年12月6日(2017.12.6)

(24) 登録日 平成29年11月17日(2017.11.17)

(51) Int.Cl.		F I	
GO2B	6/42	(2006.01)	GO2B 6/42
GO2B	6/32	(2006.01)	GO2B 6/32
HO1S	3/10	(2006.01)	HO1S 3/10 Z

請求項の数 32 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2014-546092 (P2014-546092)	(73) 特許権者	515288122
(86) (22) 出願日	平成24年12月6日(2012.12.6)		ルーメンタム オペレーションズ エルエルシー
(65) 公表番号	特表2015-500571 (P2015-500571A)		Lumentum Operations LLC
(43) 公表日	平成27年1月5日(2015.1.5)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95035 ミルピタス ノース マッカーシーブルーヴァード 400
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/068295	(73) 特許権者	390014672
(87) 国際公開番号	W02013/086227		株式会社アマダホールディングス
(87) 国際公開日	平成25年6月13日(2013.6.13)		神奈川県伊勢原市石田200番地
審査請求日	平成27年10月5日(2015.10.5)	(74) 代理人	100083806
(31) 優先権主張番号	61/569,012		弁理士 三好 秀和
(32) 優先日	平成23年12月9日(2011.12.9)	(74) 代理人	100095500
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 伊藤 正和
前置審査			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザービームのビームパラメータ積を変動させること

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザービームのビームパラメータ積を変動させるための光学装置であって、光学装置は、

光学装置中にレーザービームを入力するための入力ポートと、

入力ポートに光学的に結合されたビーム発射機と、

ビーム発射機に光学的に結合された光学的導波管サブアッセンブリであって、

第1と第2の端部と、コアと、コアを取り囲んだクラディングを有する光学的導波管であって、コアとクラディングが光学的導波管の第1と第2の端部の間に伸長しているものと、

第2の端部に結合され、10.0mmより大きくない焦点距離を有する出口レンズと、

を含んだ光学的導波管サブアッセンブリと、を含み、

ビーム発射機が、光学的導波管の第1の端部において光学的導波管のコア中に収束角と発射角でレーザービームを発射するように構成され、ビーム発射機が、収束角または発射角の1つ以上を変動させるように構成されており、

動作では、発射されたレーザービームが、光学的導波管の第1の端部から第2の端部までおよび出口レンズを通して伝播し、出口レンズに近接して第1のレーザービームくびれ部を形成し、第1のレーザービームくびれ部は直径を有しており、

光学的導波管の第2の端部における局所的な光線角の分布が実質的に第2の端部付近の

光学的導波管の光学軸の周りに回轉的に対称的であり、

ビーム発射機が収束角および/または発射角を変動させる時、出口レンズが、変動された収束角および/または変動された発射角をもったレーザービームを受け取り、レーザービームの分布を第1の分布から第2の分布に変換し、それによりレーザービームの特定の直径を変動させ、焦点平面において直径を有する第1のレーザービームくびれ部を形成し

、
光学的導波管が、ステップインデックス導波管であり、

出口レンズが、出口レンズを出るレーザービームのビームパラメータ積を追加に変動させるために、出口レンズから出るレーザービームの可変な発散と第1のレーザービームくびれ部の可変な直径の望ましい混合を作り出すように選択された収差を有し、

10

出口レンズが、光学的導波管に結合された第1の勾配インデックス光学的エレメントと、第1の勾配インデックス光学的エレメントに結合された第2の勾配インデックス光学的エレメントを含み、

第1の勾配インデックス光学的エレメントが、1/2ピッチ長の1つまたは整数倍のものであり、第1の勾配インデックス光学的エレメントの放射状勾配インデックスプロファイルが、収差を作り出すように実質的に非放物線状であり、

第2の勾配インデックス光学的エレメントが、1/4ピッチ長の1つまたは奇整数倍のものであり、第2の勾配インデックス光学的エレメントの放射状勾配インデックスプロファイルが、出口レンズから出るレーザービームの可変な発散と第1のレーザービームくびれ部の可変な直径の望ましい混合を作り出すように実質的に放物線状である、光学装置。

20

【請求項2】

出口レンズが、光学的導波管に強固に載置されている、請求項1の光学装置。

【請求項3】

出口レンズが、光学的導波管と一体である、請求項2の光学装置。

【請求項4】

出口レンズが、勾配インデックスレンズ、勾配インデックス導波管ピース、および彎曲した外側光学的表面を有するエンドキャップからなるグループから選択されている、請求項3の光学装置。

【請求項5】

出口レンズが、勾配インデックスレンズと勾配インデックス導波管ピースからなるグループから選択されており、出口レンズの長さが1/4ピッチまたはその奇数倍ではなく、出口レンズが、1/4ピッチの長さで使われた時に、10mmより大きくない焦点距離を生み出すであろうような、屈折率プロファイルを有する、請求項1の光学装置。

30

【請求項6】

ビーム発射機が、その上に当たっているレーザービームを光学的導波管の第1の端部に発射するための入口レンズと、レーザービームと入口レンズの光学軸の間に可変な横方向変位を提供するためのシフターを含む、請求項1の光学装置。

【請求項7】

入口および出口レンズが、それぞれ光学的導波管の第1および第2の端部に強固に載置されている、請求項6の光学装置。

40

【請求項8】

入口レンズが、コア中に傾斜光線を作成するようにレーザービームをコア中に発射するために、光学的導波管のコアに対して横方向にオフセットされている；または入口レンズが勾配インデックスレンズかまたは勾配インデックスファイバーのピースであり、コア中に傾斜光線を作成するようにレーザービームをコア中に発射するために、入口レンズの外側面が傾けられている；またはコア中に傾斜光線を作成するようにレーザービームをコア中に発射するために、レーザービームが、可変な横方向変位に加えて傾きをもって入口レンズ中に発射される、請求項7の光学装置。

【請求項9】

入口および出口レンズが、光学的導波管と一体である、請求項7の光学装置。

50

【請求項 10】

入口および出口レンズが、同じ焦点距離を有する、請求項 7 の光学装置。

【請求項 11】

入口および出口レンズが、勾配インデックスレンズ、勾配インデックス導波管ピース、および彎曲した外側光学的表面を有するエンドキャップからなるグループから選択されている、請求項 7 の光学装置。

【請求項 12】

入口および出口レンズの外側表面にそれぞれ融着された第 1 および第 2 のエンドキャップを更に含む、請求項 7 の光学装置。

【請求項 13】

第 1 および第 2 のエンドキャップの外側光学的表面が、光学的導波管の第 1 の端部中へのレーザービームのフォーカスと、光学的導波管の第 2 の端部を出るレーザービームのコリメーションをそれぞれ容易にするように彎曲されている、請求項 12 の光学装置。

【請求項 14】

シフターが、レーザービームを横方向に変位するための、入口レンズの上流に配置された、横方向に変位可能なレンズまたは光学楔を含む、請求項 6 の光学装置。

【請求項 15】

横方向に変位可能なレンズまたは光学楔を変位可能に載置するための撓みマウントを更に含む、請求項 14 の光学装置。

【請求項 16】

コアが、光学的導波管の第 2 の端部におけるレーザービームの強度の実質的に均一な放射状分布の形成を容易にするために非円形断面を有し、それにより第 1 のレーザービームくびれ部における光線角の均一な分布を容易にする、請求項 1 の光学装置。

【請求項 17】

非円形断面が、正方形、長方形、三角形、六角形、八角形、D 字形状、リップル状、カスプ状、および星形からなるグループから選択されている、請求項 16 の光学装置。

【請求項 18】

クラディングが、少なくとも 250 マイクロメートルの直径を有する、請求項 1 の光学装置。

【請求項 19】

クラディングが、SiO₂クラディングからなる、請求項 18 の光学装置。

【請求項 20】

その第 1 および第 2 の端部の間の光学的導波管の長さが、少なくとも 1 m である、請求項 19 の光学装置。

【請求項 21】

光学的導波管が、レーザービームの偏光を制御するための、偏光維持、偏光、カイラル、またはスパン導波管からなる、請求項 1 の光学装置。

【請求項 22】

光学的導波管が、ダブルクラッド導波管、マルチクラッド導波管、フォトニック結晶導波管、およびマイクロ構造導波管からなるグループから選択されている、請求項 1 の光学装置。

【請求項 23】

第 1 のレーザービームくびれ部においてビームスペckル構造を削減するように、レーザービームがその中に発射された時に光学的導波管を振動させるための、光学的導波管に結合された振動ユニットを更に含む、請求項 1 の光学装置。

【請求項 24】

振動ユニットが、音響トランスデューサー、超音波トランスデューサー、および機械的バイブレーターからなるグループから選択されている、請求項 23 の光学装置。

【請求項 25】

可変なビームパラメータ積でターゲットにレーザービームを配送するためのレーザービ

10

20

30

40

50

ーム配送システムであって、レーザービーム配送システムは、
請求項 1 の光学装置と、

光学装置に結合されたプロセスヘッドであって、プロセスヘッドは、ターゲットの上または近くで第 1 のレーザービームくびれ部を第 2 のレーザービームくびれ部に結像するための、出口レンズに結合されたフォーカスエレメントを含むものと、を含む、レーザービーム配送システム。

【請求項 2 6】

第 2 および第 1 のレーザービームくびれ部の直径の比として規定された、フォーカスエレメントの画像拡大率が、焦点平面におけるレーザービームの発散の変動と実質的に独立である、請求項 2 5 のレーザービーム配送システム。

10

【請求項 2 7】

第 2 のレーザービームくびれ部を撮像するためのカメラと、
カメラによって撮像された第 2 のビームくびれ部の直径を決定するための、カメラとビーム発射機に結合されたコントローラーであって、コントローラーは、ターゲット上で第 2 のレーザービームくびれ部の直径の予め決められた値に達するように、レーザービームの収束角および/または発射角を調節することをビーム発射機に引き起こすように構成されているものと、を更に含む、請求項 2 5 のレーザービーム配送システム。

【請求項 2 8】

ターゲットに配送されたレーザービームの制御可能な遮断を提供するためのシャッターボックスであって、ビーム発射機が、シャッターボックス中に配置されているものを更に含む、請求項 2 5 のレーザービーム配送システム。

20

【請求項 2 9】

入力ポートへのレーザーによって放出されたレーザービームの配送のための、入力ポートに結合された入力ファイバーを更に含む、請求項 2 5 のレーザービーム配送システム。

【請求項 3 0】

光学的導波管中のレーザービームのラマン散乱によって作成された光を抑制するためのラマンフィルターを更に含む、請求項 2 5 のレーザービーム配送システム。

【請求項 3 1】

レーザービームのビームパラメータ積を変動させるための方法であって、方法は、(a) 第 1 と第 2 の端部と、コアと、コアを取り囲んだクラディングを有する光学的導波管であって、コアとクラディングが光学的導波管の第 1 と第 2 の端部の間に伸長しているものと、第 2 の端部に強固に載置され、10.0 mm より大きくない焦点距離を有する出口レンズと、を提供することと、(b) 光学的導波管の第 1 の端部中に収束角および/または発射角でレーザービームを発射することと、(c) 光学的導波管の光学軸に対する局所的な光線角の大きさの分布を実質的に保持しながら、第 2 の端部において実質的に回転的に対称的な分布を形成するような、光学的導波管によって導波されたレーザービームの光線角を可能とすべく、光学的導波管中でステップ (b) で発射されたレーザービームを、第 1 の端部から第 2 の端部まで伝播することと、

30

(d) 出口レンズを通してレーザービームを指向させ、出口レンズから出るレーザービーム中に第 1 のレーザービームくびれ部を形成することであって、第 1 のレーザービームくびれ部は、ステップ (c) で形成された光学的導波管の第 2 の端部における局所的な光線角の回転的な対称性のために実質的に回転的に対称的であることと、(e) レーザービームの分布を第 1 の分布から第 2 の分布に変換し、出口レンズを使って、出口レンズを出るレーザービームの特定の直径を変動させるように、収束角および/または発射角を変動させ、それにより焦点平面において直径を有する第 1 のレーザービームくびれ部を形成することと、を含み、

40

光学的導波管が、ステップインデックス導波管であり、

出口レンズが、出口レンズを出るレーザービームのビームパラメータ積を追加に変動させるために、出口レンズから出るレーザービームの可変な発散と第 1 のレーザービームくびれ部の可変な直径の望ましい混合を作り出すように選択された収差を有し、

50

出口レンズが、光学的導波管に結合された第1の勾配インデックス光学的エレメントと、第1の勾配インデックス光学的エレメントに結合された第2の勾配インデックス光学的エレメントを含み、

第1の勾配インデックス光学的エレメントが、1/2ピッチ長の1つまたは整数倍のものであり、第1の勾配インデックス光学的エレメントの放射状勾配インデックスプロファイルが、収差を作り出すように実質的に非放物線状であり、

第2の勾配インデックス光学的エレメントが、1/4ピッチ長の1つまたは奇整数倍のものであり、第2の勾配インデックス光学的エレメントの放射状勾配インデックスプロファイルが、出口レンズから出るレーザービームの可変な発散と第1のレーザービームくびれ部の可変な直径の望ましい混合を作り出すように実質的に放物線状である、方法。

10

【請求項32】

ステップ(b)において、出口レンズの下流に環状スポットを作り出すべく、発射角が収束角よりも大きい、請求項31の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザー材料処理に関し、特にレーザービーム配送に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザー材料処理は、多くの利点を有し、高生産性、処理の非接触性、向上した品質、およびレーザービーム配送ポイントの高精細かつ移動性を含む。レーザーは現在、切断、ドリリング、溶接、ろう付け、表面アニーリング、合金化、硬化、およびその他の応用に使われる、光学ファイバーは、高パワーおよび/または高強度のレーザービームをターゲットへ配送するのに頻繁に使われる。

20

【0003】

ファイバー配送されたレーザー材料処理システムは、典型的には以下のコンポーネントを含む：レーザー、例えばファイバーレーザー；光学カップラーユニット、スイッチボックスまたはシャッターボックスとしても知られる；プロセスファイバー（「配送ファイバー」とも呼ばれる）、典型的には10 - 50 m長さで、補強されたケーブルの中で、両方の端部がプラグ可能な；およびプロセスヘッド。プロセスヘッドは、プロセスファイバーにためのレセプタクル、レーザーパワーを投影する光学系、およびアシストガスポートのような、レーザーベースの処理のためのあらゆる要求されたアクセサリ、を含んだ光学的アッセンブリーである。レーザー放出は、自由スペースを通してかまたは別の光学ファイバーを通して、光学カップラーユニットに送信される。光学カップラーユニットは、プロセスファイバー中に放射を発射し、それはレーザーライトとプロセスヘッドに送信する、プロセスヘッドは、要求された処理タスクを行うようにワークピース上にレーザーライトを投影する。

30

【0004】

そのようなシステムは、切断、溶接、熱処理等を含んだ多くの異なるプロセスタイプで、多くの異なる材料タイプ、厚さおよび幾何学的形状で使われる。ワークピースにおける望ましい焦点スポットサイズ、発散、およびビーム品質は、プロセスタイプと関連したプロセスパラメータに依存して幅広く変動する。プロセスヘッドは典型的には、できるだけ少ないコンポーネントを使って最良の可能なスポットを作り出すために構築された、画像デバイスであるので、ワークピースの近くのスポットは典型的には、プロセスファイバー出力における、プロセスヘッドの倍率でスケールされた、スポットの画像、またはより詳細にはビームくびれ部である。ビームくびれ部半径と発散（ハーフアングル）の積は、ミリメートルミリラディアンズ（mm - mrad）の単位で表された、ビームパラメータ積（BPP）という不変量である。

40

【0005】

レーザービームの異なるスポットサイズおよび/または異なる発散を作り出すために、

50

通常プロセスファイバーを異なるコアサイズの別のファイバーにスワップするか、またはプロセスヘッドを異なる倍率の別のヘッドとスワップする。配送ファイバーおよび/またはプロセスヘッドの物理的スワッピングのプロセスは、時間が掛って不都合であり、敏感なファイバー先端の汚染または損傷までも結果としてなり得る。

【 0 0 0 6 】

Ditzingen, GermanyのTrumpf GmbHは、2つの異なるサイズの導波管を含んだ特別に構築された配送ファイバーを最近報告し、1つの中央のコアが、クラディングによって、それから環状の第2のコアで取り囲まれ、ユーザーに丸いビームかより大きなドーナツ形状のビームの選択を与え(PCT特許出願WO2011/124671A1)、それにより2つの区別されたBPP値を提供する。この技術によって利用可能な大まかな選択は、例えば、切断と溶接の間で切り替えるのに使用可能であるが、様々なプロセスタイプの間のプロセスまたは切り替えのより微細なチューニングには、連続したBPPの変動性を有することができるかにより有用である。

10

【 0 0 0 7 】

US特許5,245,682のOrtizは、ビーム品質制御システムを開示し、ここでは配送ファイバーの出力端部における発散が、配送ファイバー中にフォーカスされたレーザービームの発散を切り替えることによって制御される。図1Aから1Cを参照すると、Ortizのファイバー結合されたレーザーシステム100は、レーザー101と、異なる焦点距離を有する3つのレンズ102A-102Cと、入力および出力端部104と105をそれぞれ有する配送ファイバー103を含む。レンズ102A-102Cは、トランスレーションステージ110に載置され、レンズ102A-102Cが、一度に1回ずつ、レーザー101によって放出されたレーザービーム107のビームパス106中に挿入されることを許容する。例えば、図1Aでは、3つのレンズ102A-102Cの最も長い焦点距離を有する第1のレンズ102Aが、ビームパス106中に挿入され、配送ファイバー103の入力端部104の上にフォーカスされた収束レーザービーム108の最も小さなビーム収束角に結果としてなる。図1Bと1Cでは、収束レーザービーム108の収束角は、それぞれ第2および第3レンズ102B、102Cの減少する焦点距離に伴って漸次増加する。

20

【 0 0 0 8 】

その相対的な硬さと硬いハウジングによって供された鋭いベンドの不在のために、配送ファイバー103は、配送ファイバー103内の光線角を保持し、収束レーザービーム108の対応する収束角に近い、出力端部105における発散レーザービーム109の発散角に結果としてなる。従って、レンズ102A-102Cが切り替えられると、発散レーザービーム109の発散角は階段状のやり方で変化し、それは発散レーザービーム109のBPPが図示されないワークピースに配送されるように切り替えることを許可する。有害なことに、Ortizシステムは、レンズ102A-102Cおよび/またはファイバー103の入力端部104がマイクロメーターの精度で再位置付けまたは揃えられることを要求し、それはそのようなシステムの実用的な適用性を制限する。更に、切り替えが行われるにはレーザービームは遮断されなければならない、それは不都合かいくつかの応用では有害でも有り得る。更には、レーザー処理アクションに主に責任があるのはフォーカスしたレーザービームの光学的パワー密度または強度であるので、それは出力ビーム発散だけではなくスポットサイズが変動される必要がある。

30

40

【 0 0 0 9 】

US特許7,151,788のImakado et al.は、レーザー処理デバイスを開示し、ここではワークピースに配送されたレーザービームのBPPはまた、入力発散を変動されることにより変動させられ、配送ファイバーの出力における変動する出力発散に結果としてなる。集光レンズが、配送ファイバーを出るレーザービームをターゲット上で焦点スポット中に再フォーカスする。集光レンズによって達成される焦点スポットサイズは、配送ファイバーを出るレーザービームの発散に依存し、それはレンズが顕著な収差のレベルを有さなければならないことを示唆する。結果として、入力発散が変動されると、フォーカスされたス

50

ポットサイズが変動される。有害なことに、そのようなシステムが高いBPPについて調整されると、フォーカスされたスポットはぼやけてしまい、機械加工のために望ましいより定義されたエッジを欠いている。加えて、発散の関数としてのスポットサイズの変動は、比較的緩やかになる可能性が高く、発散の変化は、スポットサイズがそうであるよりもBPP変化全体への貢献のはるかに多くを行う可能性が高い、

従来技術は、レーザー材料処理システムで、BPP、特にスポットサイズが、良く定義した焦点スポットでもって、円滑に、連続的に、且つリアルタイムで変動し得るものを欠いている。従って、そのようなレーザー材料処理システムおよび方法を提供することは発明の目的である。

【発明の概要】

【0010】

本発明は、配送ファイバーの出口端部の近くに小さな角度ツーオフセットレンズを置くことによって、ファイバー出力においてかまたはその近くに制御可能なビームくびれ部サイズを作り出すために、配送ファイバーの発散保持特性を使う。ここでは「出口レンズ」と称される角度ツーオフセットレンズは、例えば10mm以下、より好ましくは1mm以下の、非常に短い焦点距離を有する。出口レンズの機能は、ファイバー内の光線の保持された角度分布を光線座標分布に変換し、よって配送ファイバーの出力端部に近接する出口レンズの焦点平面においてかまたはその近くに小さな、良く定義されたビームくびれ部を作り出すことである。スポットのサイズは、発散にほぼ線形的に依存し、それはスポットサイズを変動させるために、ファイバー先端上にフォーカスされたレーザービームの入力収束角を変動させることによって変動されることができ

【0011】

入力収束角を変動させる代わりに（または追加に）、配送ファイバー中への発射角が変動されることができ

好都合には、これは、出口レンズと同様または同一に作られることができる「入口レンズ」の前でレーザービームを変位させることによってなされることができ

入口レンズは、配送ファイバー中に光をフォーカスする。その回転的対称性のために、配送ファイバーは、ファイバー内の個別の光線の方位角を素早く平均化する。結果として、出力発散は、実質的に回転的に対称的である。レーザービームが入口レンズの前で変位される時に、対称的な出力発散が変動され、出口レンズがその変動を、配送ファイバー-出口レンズアッセンブリーの出力におけるスポットサイズの変動に変換する。配送ファイバーは、好ましくはグレーデッドインデックス(GRIN)レンズである入口および出口レンズと一体的に作られることができる。エンドキャップが、GRINレンズの外側光学的表面に融着されることができ

エンドキャップの入口および出口表面は、反射防止被覆されることができ

通常のスラブインデックス配送ファイバーが好ましいが、説明されるように、その他のファイバータイプが使われることもできる。

【0012】

発明に従って、レーザービームのビームパラメータ積を変動させるための光学装置であって、光学装置は、

光学装置中にレーザービームを入力するための入力ポートと、

入力ポートに光学的に結合されたビーム発射機と、

ビーム発射機に光学的に結合された光学的導波管サブアッセンブリーであって、第1と第2の端部と、コアと、コアを取り囲んだクラディングを有する光学的導波管であって、コアとクラディングが光学的導波管の第1と第2の端部の間に伸長しているものと、第2の端部に結合された出口レンズと、

を含んだ光学的導波管サブアッセンブリーと、を含み、

ビーム発射機が、導波管の第1の端部において導波管のコア中に収束角と発射角でレーザービームを発射するように構成され、ビーム発射機が、収束角と発射角の1つ以上を変動させるように構成されており、

動作では、発射されたレーザービームが、光学的導波管の第1の端部から第2の端部までおよび出口レンズを通して伝播し、出口レンズに近接して第1のレーザービームくびれ

10

20

30

40

50

部を形成し、第1のレーザービームくびれ部は直径を有しており、

光学的導波管の第2の端部における局所的視線角の分布が実質的に第2の端部に近接する導波管軸の周りに回転的に対称的であり、

ビーム発射機が収束角および/または発射角を変動させる時、出口レンズに近接する第1のレーザービームくびれ部の直径が変動され、それにより出口レンズから出るレーザービームのビームパラメータ積を変動させる、

光学装置、が提供される。

【0013】

一実施形態では、ファイバー内の光の発散は、導波管の第1および第2の端部の間で光学的導波管に結合された発散調節エレメントを使って調節される。発散調節エレメントは、光学的導波管中にマイクロバンドを作り出す機械的圧力および/または配送導波管に融着された加熱されたかまたはストレスがかけられたグレーデッドインデックス導波管セクションのセクションを含むことができる。動作では、エレメントは光学的導波管内のレーザービームの発散を調節し、それにより出口レンズの焦点平面における第1のレーザービームスポットの直径および/または発散を変動させる。

10

【0014】

発明の別の側面に従って、可変なビームパラメータ積でのターゲットへのレーザービームの配送のためのレーザービーム配送システムであって、レーザービーム配送システムは、

レーザービームのビームパラメータ積を変動させるための、上述した光学装置のいずれか1つと、

20

光学装置に結合されたプロセスヘッドであって、プロセスヘッドは、ターゲット上で第1のレーザービームスポットを第2のレーザービームスポット上に結像するための、出口レンズに結合されたフォーカスエレメントを含むものと、を含む、レーザービーム配送システム、が更に提供される。

【0015】

発明の別の側面に従って、レーザービームのビームパラメータ積を変動させるための方法であって、

(a) 第1と第2の端部と、コアと、コアを取り囲んだクラディングを有する光学的導波管であって、コアとクラディングが光学的導波管の第1と第2の端部の間に伸長しているものと、第2の端部に結合された出口レンズと、を提供することと、

30

(b) 光学的導波管の第1の端部中に収束角および/または発射角でレーザービームを発射することと、

(c) 光学的導波管の光学軸に対する局所的視線角の大きさの分布を実質的に保持しながら、第2の端部において実質的に回転的に対称的な分布を形成するような、光学的導波管によって導波されたレーザービームの視線角を可能とすべく、光学的導波管中でステップ(b)で発射されたレーザービームを、第1の端部から第2の端部まで伝播することと、

(d) 出口レンズを通してレーザービームを指向させ、出口レンズから出るレーザービーム中に第1のレーザービームくびれ部を形成することであって、第1のレーザービームくびれ部は、ステップ(c)で形成された光学的導波管の第2の端部における視線角の回転的な対称性のために実質的に回転的に対称的であることと、

40

(e) 出口レンズを出るレーザービームのビームパラメータ積を変動させるように、収束角および/または発射角を変動させることと、

を含む、方法、が更に提供される。

【0016】

例示的实施形態がここで図面との関係で記載される。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1A】図1Aは、ファイバー配送されたレーザー光の切り替え可能な発散をもった従来技術のファイバー結合されたレーザーシステムの概略図である。

50

【図 1 B】図 1 B は、ファイバー配送されたレーザー光の切り替え可能な発散をもった従来技術のファイバー結合されたレーザーシステムの概略図である。

【図 1 C】図 1 C は、ファイバー配送されたレーザー光の切り替え可能な発散をもった従来技術のファイバー結合されたレーザーシステムの概略図である。

【図 2 A】図 2 A は、発明の光学的導波管サブアッセンブリの縦方向断面図である。

【図 2 B】図 2 B は、レーザービームのビームパラメータ積を変動させるための光学装置の縦方向断面図であり、光学装置は図 2 A のサブアッセンブリを含んでいる。

【図 2 C】図 2 C は、レーザービームのビームパラメータ積を変動させるための光学装置の縦方向断面図であり、光学装置は図 2 A のサブアッセンブリを含んでいる。

【図 3 A】図 3 A は、図 2 C の光学的導波管サブアッセンブリの出力におけるレーザースポットのシミュレーションされたスポットダイアグラムである。

10

【図 3 B】図 3 B は、図 2 C の光学的導波管サブアッセンブリの出力におけるレーザースポットのシミュレーションされたスポットダイアグラムである。

【図 3 C】図 3 C は、図 2 C の光学的導波管サブアッセンブリの出力におけるレーザースポットのシミュレーションされたスポットダイアグラムである。

【図 3 D】図 3 D は、図 2 C の光学的導波管サブアッセンブリの出力におけるレーザースポットのシミュレーションされたスポットダイアグラムである。

【図 4】図 4 は、発明のレーザービーム配送システムの概略断面図である。

【図 5】図 5 は、図 4 のレーザービーム配送システムのプロセスヘッドの光学的光線トレーズダイアグラムである。

20

【図 6】図 6 は、撓みマウント上に載置された図 4 のレーザービーム配送システムのオフセットレンズの正面図である。

【図 7】図 7 は、配送ファイバー、GRIN 入口および出口レンズ、およびエンドキャップのペアを含んだ、発明の導波管サブアッセンブリの側面図である。

【図 8】図 8 は、発明に従った複合 GRIN 出口レンズの側面図である。

【図 9 A】図 9 A は、出力発散を増加するように光学的導波管中にマイクロバンドを作り出す、機械的発散調節エレメントの側方断面図である。

【図 9 B】図 9 B は、加熱されたグレーデッドインデックスファイバー発散調節エレメントの側方断面図である。

【図 10】図 10 は、導波管の出力におけるスペckルパターンを排除するための、光学的導波管に結合されたピエゾエレメントの側方断面図である。

30

【図 11 A】図 11 A は、ステップインデックスシングルクラッドファイバーの断面図である。

【図 11 B】図 11 B は、ステップインデックスダブルクラッドファイバーの断面図である。

【図 11 C】図 11 C は、グレーデッドインデックスファイバーの断面図である。

【図 12】図 12 は、図 4 のレーザービーム配送システムを含んだレーザー材料処理システムの概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

40

本教示は様々な実施形態と例との関連で記載されるが、本教示はそれらの実施形態に限

定されていることを意図されていない。逆に、当業者によって理解されるであろうように、本教示は様々な代替案、修正案および等価物を包括する。

【0019】

典型的なステップインデックスファイバーは、ビームがステップインデックスコアの周辺によって制限されるので、ファイバーの出力端部においておよそ同じスポットサイズのビームを常に配送する。但し、ファイバー内の光の発散角は、ファイバーによって支持された最大バウンス角より少ない限りは、理想的なファイバーの場合には保存され続け、それは、

50

【 0 0 2 0 】

【 数 1 】

$$\sin^{-1}(NA) = \sin^{-1}(\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}) \quad (1)$$

【 0 0 2 1 】

で与えられる。ここで、NAはファイバー開口数、 n_1 はコアの反射率、 n_2 はクラディングの反射率である。この開示を通して、全てのバウンス角と発散は空気での角度で表される。ファイバー内では、Snellの法則に従って、角度は減少する。

10

【 0 0 2 2 】

実際のファイバーでは、発散角は、ファイバーマイクロとマクロベンディングおよびコアのサイズ、形状、反射率均等性での不完全性により、完全には保存されない。典型的なモダンプロセスファイバーまたは導波管では、発散角の保持の許容なレベルは、バンドの起こりを削減するようにファイバーを十分に硬くするような大きな外側直径の使用により、および小さなコア直径の使用により、正確な作製によって達成される。例としてあげると、プロセス導波管のグラスクラディング部分の外側直径は、250マイクロメートル以上、多くは400マイクロメートル以上であることができ、コア直径は200マイクロメートル以下、多くは100マイクロメートルまたは50マイクロメートル以下であることができる。そのような導波管では、例えば0.10ラディアンの内部発散角をもった光は、10% - 20%より多くない発散の増加でもって数十メートルの距離を伝播することができる。この実質的な発散の保存は、導波管内部のレーザービームの予め規定された発散を作り出すように制御された発散角においてレーザービームを発射させることにより望ましいスポットサイズを求めるのに使えることができる一方で、保存された発散をレンズの焦点平面におけるスポットサイズ中に変換する、導波管の出口端部の近くの小さなレンズを配置する。

20

【 0 0 2 3 】

図2Aを参照すると、発明の光学的導波管サブアセンブリ200は、コア204と光学的導波管202のそれぞれ第1と第2の端部208と210の間にコア204を取り囲むクラディング206を有した光学的導波管202と、第2の端部210に光学的に結合された出口レンズ212を含む。示された実施形態では、出口レンズ212は、光学的導波管202の外側に配置され、光学的導波管202の第2の端部210の反対の焦点平面214を有する。出口レンズ212は薄いレンズであるという近似では、レンズ212は、第2の端部210から約1焦点距離 f 離れて配置され、焦点平面214は出口レンズ212から1焦点距離 f 過ぎて配置されている。第2の端部210とレンズ212は、お互いと共に正確には1焦点距離 f だけの距離を離して配置されていなくて、 $1f$ 距離から20 - 40%の変動で離れている。

30

【 0 0 2 4 】

動作では、実線で示された第1のレーザービーム215が、光学的導波管202の第1の端部208におけるコア204中に収束角 θ_1 で発射される。第1のレーザービーム205は、その第2の端部210において光学的導波管202を出て、出口レンズ212によってコリメートされて、出口レンズ212の焦点平面214において第1のレーザービームくびれ部217を形成する。第1のくびれ部217が実線で示されている。どのように入力収束角 θ_1 が出力ビームくびれ部サイズに影響を与えるかを描くために、点線で示された第2のレーザービーム216が、光学的導波管202の第1の端部208におけるコア204中に、第1の収束角 θ_1 よりも小さい第2の収束角 θ_2 で発射される。第2のレーザービーム216は、その第2の端部210において光学的導波管202を出て、出口レンズ212によってコリメートされて、出口レンズ212の焦点平面214において第2のビームくびれ部218を形成する。第2のくびれ部218は、第1のくびれ部217よりも小さい。よって、入力収束角 θ_1 が変動されると、小さな角度 θ_2 について約比例した

40

50

やり方で、光学的導波管サブアッセンブリ 200 の出口レンズ 212 の焦点平面におけるビームくびれ部サイズも変動される。

【0025】

図 2 A に示された実施形態では、ビームくびれ部 217 は、焦点平面 214 で、出口レンズ 212 から 1 焦点距離 f 離れて形成されている。ビームくびれ部 217 はまた、出口レンズ 212 にいくらか近接して形成されていてもでき、ビームくびれ部 217 の直径は、記載したように可変であることができる、図 2 A では、くびれ部 217 は焦点スポットと一致しているが、それは必ずしもそうでなければならないわけではない。

【0026】

明細書を通して、ビームくびれ部 217 は、「くびれ部直径」としてここで呼ばれる、レーザービームがその最小の横方向サイズをもつスポットとして規定される。「直径」という単語が使われているが、ビームくびれ部 217 は正確には円形ではなくてもよいことが理解されるはずである。典型的に当業者によって測定されるように、くびれ部直径は、例えば第 2 のモーメントまたは 86% パワーエンクロースト方法を使って、測定されることができる、くびれ部 217 は、出口レンズ 212 の焦点平面 214 にまたは後で配置されるという点でリアルであっても良く、または出口レンズ 212 の焦点平面 214 の前にか出口レンズ 212 の前に位置するように現れるという点でバーチャルでもあり得る。ここで記載された実施形態の大半では、くびれ部 217 はリアルであるが、非 1/4 ピッチ GRIN または収差した GRIN レンズ 212 の場合には、レンズ 212 内か、例えば光学的導波管 202 の第 2 の端部 210 の 10 ミリメートル内に近接した光学的導波管 202 内に配置されたバーチャルなくびれ部 217 を得られることが可能である。

【0027】

図 2 B に向かうと、第 1 のレーザービーム 221 のビームパラメータ積を変動させるための光学デバイス 220 は、光学デバイス 220 中に第 1 のレーザービーム 221 を入力するための入力ポート 224 と、入力ポート 224 に光学的に結合されたビーム発射機 226 と、ビーム発射機 226 に光学的に結合された光学的導波管サブアッセンブリ 200 を含む。ビーム発射機 226 は、その上に当たっている第 1 のレーザービーム 221 を光学的導波管 202 の第 1 の端部 208 中に発射するための入口レンズ 228 と、光学的導波管 202 の第 1 の端部 208 におけるコア 204 中に可変発射角 θ_1 で第 1 のレーザービーム 221 を発射するために、第 1 のレーザービーム 221 と入口レンズ 228 の光学軸の間の可変な横方向に変位 y_1 を提供するための、例えばトランスレーションステージのシフター 230、を含む。

【0028】

動作では、光学的導波管 202 は、光学的導波管 202 内の発射された第 1 のレーザービーム 221 の個別の光線の方位角を平均し、出口レンズ 212 の焦点平面 214 における第 1 のくびれ部 231 を形成する。結果として、光学的導波管 202 の第 2 の端部 210 における局所光線角の分布は、第 2 の端部 210 に近接した導波管軸の周りに実質的に回転的に対称的になる。コア 204 は、光学的導波管 202 の第 2 の端部 210 に近いレーザービーム 221 の光で実質的に満たされている。

【0029】

どのように発射角 θ_1 が出力スポットサイズに影響を与えるかを描くために、点線で示された第 2 のレーザービーム 222 が、第 1 の横方向の変位 y_1 よりも小さい第 2 の横方向の変位 y_2 で発射される。入口レンズ 228 は、第 2 のレーザービーム 222 が第 1 の発射角 θ_1 よりも小さな第 2 の発射角 θ_2 において光学的導波管 202 の第 1 の端部 208 の上に当たることを引き起こし、光学的導波管 202 の第 1 の端部 208 におけるコア 204 中に第 2 のレーザービーム 222 を発射する。光学的導波管 202 は、光学的導波管 202 内の発射された第 2 のレーザービーム 222 の個別の光線の方位角を平均し、出口レンズ 212 の焦点平面 214 における第 2 のくびれ部 232 を形成する。第 2 のくびれ部 232 は、第 1 のくびれ部 231 よりも小さな直径を有する、よって、レーザービーム 221 の収束角 θ_1 および / または発射角 θ_1 がビーム発射機 226 によって変動されると、出

10

20

30

40

50

口レンズ 2 1 2 の焦点平面 2 1 4 におけるレーザービームくびれ部 2 3 1 の直径が変動されて、それにより出口レンズ 2 1 2 を出るレーザービームのビームパラメータ積が変動される。

【 0 0 3 0 】

ビーム発射機 2 2 6 はまた、従来技術で既知のデバイスと方法を使って、図 2 A に示されたように入力収束角 を変動させるように構成されることもできる。更には、ビーム発射機 2 2 6 はまた、入力収束角 と発射角 を同時に変動させるように構成されることもできる。

【 0 0 3 1 】

入力収束角 と発射角 の同時変動は、いくつかの興味深い可能性を開き、くびれ部 2 1 7、2 1 8、2 3 1、2 3 2 のサイズを変動させるだけでなく、くびれ部 2 1 7、2 1 8、2 3 1、2 3 2 の形状、つまりくびれ部 2 1 7、2 1 8、2 3 1、2 3 2 内の光学パワー密度の分布、も変動させるように使われることを、光学デバイス 2 2 0 に許容する。ここで図 2 B を更に参照しつつ図 2 C を参照すると、光学デバイス 2 4 0 は、図 2 B の光学デバイス 2 2 0 と同様であるが、ビーム発射機 2 4 6 が、入力レーザービーム 2 4 1 のサイズと位置を同時に変動させるための可変デバイス 2 5 0 を含み、それにより入力レーザービーム 2 4 1 の入力収束角 と発射角 を同時に変動する、という違いがある。図 2 C では、レーザービーム 2 4 1 の示されていない個別の光線の発射角は、ゼロ発射角を含んでいない。光学的導波管 2 0 2 のコア 2 0 4 と出口レンズ 2 1 2 を通しての伝播に際して、レーザービーム 2 4 1 は、環状（ドーナツ）形状のスポット 2 5 1 を形成する。スポット 2 5 1 の形状は、ガウシアン形状、示されたようなドーナツ形状、またはもしそう要求されればフラットトップ形状、を形成するように調整されることができる。非限定的な例として、可変デバイス 2 5 0 は、出力ビーム 2 4 1 の直径を拡大または縮小するための示されていないズームレンズを含み、予め規定された量でズームされたレーザービーム 2 4 1 をオフセットするためのトランスレーター 2 3 0 と同様のトランスレーターを備えている、ことができる。それらの構成が可変な収束角 および/または可変な発射角 でレーザービーム 2 2 1、2 4 1 を発射する限りは、ビーム発射機 2 2 6 と可変デバイス 2 5 0 のその他の構成も可能である。

【 0 0 3 2 】

ここで図 3 C を更に参照しつつ図 3 A から 3 D を参照すると、シミュレートされたスポット形状 3 0 0 A から 3 0 0 D が、図 3 A から 3 D に行くに従って、レーザービーム 2 4 1 の徐々に増加する y 座標、または高さ h、においてスポット 2 5 1 に対応する。図 3 A では、スポット 3 0 0 A は、実質的にフラットトップであり、図 3 B から 3 D では、徐々に増加する直径の環状またはドーナツ形状のスポット 3 0 0 B から 3 0 0 D が形成される。図 3 A から 3 D に行くに従って、直径は 3 0 から 1 0 0 マイクロメートルまで増加する。フラットトップスポット 3 0 0 A は、例えば、レーザー溶接とレーザー熱処理のいくつかのタイプのような、いくつかの応用のために好まれることができる。ドーナツ形状のスポット 3 0 0 B から 3 0 0 D は、マイルドな鋼鉄のような厚いシートメタルの切断を含んだ、その他の応用に好まれることができる。

【 0 0 3 3 】

図 2 A から 2 C を参照し戻ると、出口レンズ 2 1 2 の焦点距離は、例えば 1 0 mm 未満、より好ましくは 1 mm 未満の、小さなものが好ましい。1 / 4 ピッチまたはその奇数倍数ではない G R I N レンズを使う時は、それは良く定義された焦点距離が欠けている、しかし、そのような G R I N レンズは、1 / 4 ピッチの長さで使われた時に、1 0 mm 未満の、より好ましくは 1 mm 未満の焦点距離を生み出すような、反射率プロファイルを有さなければならない。出口レンズ 2 1 2 の焦点距離が小さい時に、焦点平面 2 1 4 における第 1 のくびれ部 2 1 7、2 1 8、2 3 1、2 3 2 または 2 5 1 もまた小さく、それは小さなレーザービームスポットサイズにおけるワークピース（図示せず）上へのその撮像を可能とする。ワークピース上の小さなスポットサイズは、レーザー材料処理について通常要求される高い光学パワー密度を可能とする。典型的な数字を使うと、光学的導波管コア 2

10

20

30

40

50

04は、0.22の開口数(NA)をもって直径は50マイクロメートルである。光学的導波管202は、0.10ラジアン最大の発散の光でもって照射される。よって、ユーザーは、ワークピース上で固定された50マイクロメートルの0.10ラディアンスポットを撮像する。本発明の一実施形態では、調節可能なビーム発射システムが、0.06ラディアンと20ラジアン間の発散のあらゆるところで光学的導波管202中に光を発射するのに使われる。光学的導波管202の第2の端部210における焦点距離 $f = 250$ マイクロメートルを有する出口レンズ212を使って、出力ビームは固定された発散 $\theta_{OUT} = \sin^{-1}(25/250) = 0.10$ ラディアンと、 $2R = 2 \times 250 \times 0.06 = 30$ マイクロメートルと $2R = 2 \times 250 \times 0.20 = 100$ マイクロメートル間のいかなるところの可変くびれ部直径に変換されることができ、そこでくびれ部直径は光学的導波管202内のビーム発散に比例している。BPPはよって、この例では $0.10 \times 30 / 2 = 1.5 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ から $0.10 \times 100 / 2 = 5 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ まで変動される。レーザービームくびれ部217または218の小さな直径は、ワークピース上の実用的に利用可能なスポットサイズにおいてワークピース上でのその撮像を可能とする。

10

【0034】

円形コア導波管の1つの特徴は、非円形コア導波管とは対照的に、それらが傾斜またはオフ軸の光線と、経線上またはオン軸の光線を混合しないことで、その結果として、もし導波管202の第1の端部208における強度分布が放射状に均一でなければ、それは導波管202の第2の端部210においても、一般には、放射状に均一ではないであろう、ということである。一実施形態では、コア204は、光学的導波管202の第2の端部210におけるレーザー強度の均一な放射状の分布の形成を容易にするために、非円形断面を有し、それにより第1のレーザービームくびれ部217、218、231、232、または251の均一な角度照明を容易にし、それはいくつかの応用では好ましくあり得る。均一な角度照明を確かなものとする好まれた非円形コア形状は、限定無しに、正方形、長方形、三角形、六角形、八角形、D字形状、リップル状、カスプ状、および星形を含む。その第1と第2の端部208と210間の光学的導波管202の長さは、好ましくは少なくとも1mである。更に、好ましくは、クラディング206は、硬さを増加しファイバーバンドを削減して、光線の角度の大きさの向上した保存のために、少なくとも250マイクロメートルの直径を有する。有利なことに、クラディング206は、向上された高い

20

30

【0035】

ここで図4に向かうと、レーザービーム配送システム400は、図2Bの光学デバイス220と、それぞれコリメーティングおよびフォーカシングレンズ404、406からなるプロセスヘッド402を含み、コリメーティングレンズ404は光学的導波管サブアセンブリー202の出口レンズ212に結合している。プロセスヘッドは、光線412で示されるように、ターゲット(ワークピース)410上の第2のレーザービームくびれ部408上にレーザービームくびれ部231を撮像する。トランスレータまたはシフター230は、光線420で示されるように、それぞれコリメーティングおよびフォーカシングレンズ414と416と、コリメーティングおよびフォーカシングレンズ414と416の間で入口レンズ228の上流に配置され、レーザービーム221を横方向に変位するための、横方向に変位可能なレンズ418を含む。横方向に変位可能なレンズ418は、トランスレーションステージ422上に載置されている。シフター230のコリメーティングおよびフォーカシングレンズ414と416は、2つの強力なレンズであり、位置で固定され、入口レンズ228の中央の中に正確な結合のために揃えられる。横方向に変位可能なレンズ418は、弱いレンズであり、入口レンズ228の光学軸に対してレーザービーム221を変位するように横方向に調整されることができ

40

50

ーム 2 2 1 の動きは、横方向に変位可能なレンズ 4 1 8 の動きと比例しており、横方向に変位可能なレンズ 4 1 8 の焦点距離とフォーカシングレンズ 4 1 6 のそれとの比によってスケールされている。よって、システム 4 0 0 は、入口レンズ 2 2 8 の光学軸に対してレーザービーム 2 2 1 の非常に正確な動きおよび/または傾きを許容する。例えば、もし横方向に変位可能なレンズ 4 1 8 の焦点距離とフォーカシングレンズのそれとの比が 1 : 20 であれば、それはレーザービーム 2 2 1 の位置の 1 マイクロメートルの微調整が、横方向に変位可能なレンズ 4 1 8 の 20 マイクロメートルの動きで達成されることができ、それは標準の機械的アクチュエーターを使って非常に容易に行われる。レンズ 4 1 8 を省略し、レンズ 4 1 4 と 4 1 6 のどちらかまたは両方を動かして、あるいは例えば、レンズ 4 1 4 と 4 1 6 の間のビーム経路に配置された、図示しない、ミラーを調節することによってレンズ 4 1 4 と 4 1 6 の間のビームの方向を調節することによって、レーザービーム 2 2 1 の位置を調整することが代替的に可能である。

10

【 0 0 3 6 】

上記の通り、出口レンズ 2 1 2 が、例えば 1 mm 未満の短い焦点距離を有する小さくて「強力な」レンズであることが非常に好ましい。出口レンズ 2 1 2 に代えていくつかのミリメートルの大きな焦点距離を有する従来のレンズを使うことは、ワークピース 4 1 0 上に撮像するためのプロセスヘッドのための許容しがたいほど大きなビーム直径に結果としてなる。従って、新たなプロセスファイバーアッセンブリーが従来技術のプロセスファイバーのためのドロップイン交換となるように、光学的導波管 2 0 2 上に直接一体化した非常に短い焦点距離のレンズを使うことが好ましい。短い焦点距離のレンズは、図 4 に示されているように、凸型外側光学的表面をもったファイバーエンドキャップか、またはグレーデッドインデックスレンズを光学的導波管 2 0 2 の第 1 の端部 2 0 8 の上に融着することで実装され、モノリシック構造に結果としてなる。代替的に、離散的なマイクロレンズが光学的導波管 2 0 2 の端部 2 0 8 と 2 1 0 に非常に近接して固体的に載置されることができ、エンドキャップレンズまたはグレーデッドインデックスレンズと同じ機能を提供するが、2 つの光学的表面と、それぞれ入口および出口レンズ 2 2 8 と 2 1 2 が光学的導波管 2 0 2 の上に融着された時よりも潜在的により不安定で汚染物の傾向をもつ光学的経路とを追加するという不利点がある。一実施形態では、入口および出口レンズ 2 2 8 と 2 1 2 は、同じ焦点距離を有する。入口および出口レンズ 2 2 8 と 2 1 2 は、結果として得られるモノリシック構造が対称的であり、トランスレーター 2 3 0 と面するレンズ 2 2 8 または 2 1 2 のどちらか 1 つで使われることができるように、光学的導波管 2 0 2 の端部 2 0 8 と 2 1 0 に融着された同一のレンズでさえあることができる。

20

30

【 0 0 3 7 】

図 5 に向かうと、光学的光線トレーズダイアグラム 5 0 0 が、ターゲット 4 1 0 における第 2 のくびれ部 4 0 8 の上の出口レンズ 2 1 2 の焦点平面 2 1 4 における第 1 のレーザーくびれ部 2 3 1 の撮像を描いている。好ましくは、それぞれ第 2 と第 1 のレーザービームくびれ部 4 0 8 と 2 3 1 の直径の比として規定された、プロセスヘッド 4 0 2 のレンズ 4 0 4 と 4 0 6 の画像拡大率は、実質的に焦点平面 2 1 4 におけるレーザービームの発散の変動に依存していない。これは、入力発散上の拡大比の角度依存度の不在が低い収差の指標であり、より鋭い撮像を可能とするので、ターゲット 4 1 0 の上の第 1 のレーザービームくびれ部 2 3 1 のより鋭い撮像を許容する。

40

【 0 0 3 8 】

図 6 を参照すると、横方向に変位可能なレンズ 4 1 8 は、矢印 6 0 2 によって指し示めされているように、横方向に変位可能なレンズ 4 1 8 を変位可能に載置するための撓みマウント 6 0 0 上に載置されることができ、撓みマウント 6 0 0 は、弾性閾値の下で動作し、撓みマウント 6 0 0 のばねパラメータに僅かか全く無い変化で、レンズ 4 1 8 に非常に大きな数の横方向の変位を許容する。撓みマウント 6 0 0 は、図 4 のトランスレーター 4 2 2 の一部である。

【 0 0 3 9 】

図 4 を更なる参照として図 7 に向かうと、発明のレーザービーム配送導波管アッセンブ

50

リー700が、レーザービーム配送システム400で使われることができる。レーザービーム配送導波管アッセンブリー700は、それぞれ第1から第2の端部208から210へレーザービームを導くための、それぞれ第1と第2の端部208と210を有するステップインデックス光学的導波管202を含む。第1と第2のグレーデッドインデックス光学エレメント701と702が、光学的導波管202のそれぞれ第1の端部208にと第2の端部210からのレーザービームの結合のために、それぞれ第1と第2の端部208と210と融着されている。例えば、GRINレンズであることができる、第1と第2のグレーデッドインデックス光学エレメント701と702は、レーザービーム配送システム400のそれぞれ入口および出口レンズ228と212に対応する。それぞれ第1と第2のエンドキャップ703と704は、それぞれレーザービームを第1のグレーデッドインデックス光学エレメント701にと第2のグレーデッドインデックス光学エレメント702からの送信のために、それぞれ第1と第2のグレーデッドインデックス光学エレメント701と702に融着されている。それぞれ第1と第2のエンドキャップ703と704の外側光学的表面705と706は、反射防止(AR)被覆されていることができる。更には、それぞれ第1と第2のエンドキャップ703と704の外側光学的表面705と706は、それぞれ光学的導波管202の第1の端部208中にレーザービームのフォーカスと光学的導波管202の第2の端部210を出るレーザービームのコリメーションを容易にするために彎曲されることができる。

【0040】

一実施形態では、出口レンズ212は、スポットサイズの変動のレートよりも多くか少ないレートで出口レンズ212を出るレーザービームのビームパラメータ積を追加して変動させるために、出口レンズ212を出るレーザービームの可変な発散と第1のレーザービームくびれ部217の可変な直径の望ましい混合を作り出すために選択された収差を有する。ここで図8を参照すると、出口レンズ212は、光学的導波管202に好ましくは融着されて結合される第1の傾斜インデックス光学エレメント801と、第1の光学エレメント801に好ましくは融着されて結合される第2の傾斜インデックス光学エレメント802からなる。第1の傾斜インデックス光学エレメント801は、1/2ピッチ長の1つまたは整数倍のものである。第1の光学エレメント801の放射状傾斜インデックスプロファイルは、収差を作り出すために実質的に非放物線である。第2の傾斜インデックス光学エレメント802の放射状傾斜インデックスプロファイルは、レーザービームの可変な発散と可変なレーザービームくびれ部直径の望ましい混合を作り出すために実質的に放物線である。

【0041】

動作では、実線で示された光の第1の光線804が、それぞれ第1と第2のグレーデッドインデックス光学エレメント801と802の光学軸810の近くに伝播する。第1の光線804について、第1の光線804は理想的な放物線プロファイルから第1のグレーデッドインデックス光学エレメント801の反射率の相当な偏りを経験しないよう光学軸810に十分に近いので、焦点平面は第2のグレーデッドインデックス光学エレメント802の外側表面807においてである。破線で示された光の第2の光線806は、光学軸810から更に伝播する。第2の光線806について、第1の光線804は、理想的な放物線プロファイルから第1のグレーデッドインデックス光学エレメント801の反射率の相当な偏りを経験するよう光学軸810から十分に遠いので、焦点平面は第2のグレーデッドインデックス光学エレメント802内に配置された平面808においてである。結果として、レーザービームの可変な発散と可変なレーザービームスポットサイズの望ましい混合が、入力発射角が変動されるにつれて作り出される。代替的に、第2の傾斜インデックス光学エレメント802を省略し、1/4ピッチ長の1つまたは奇整数倍のおおよその長さの収差した第1の傾斜インデックス光学エレメント801を利用して、同様の効果を達成することができる。

【0042】

出力レーザービームの可変な発散と可変なくびれ部直径の望ましい混合を達成するもつと別の方法は、出口レンズ212について、1/4ピッチまたはその奇整数倍とは違う長さの傾斜インデックス光学エレメントを使うことである。そのような非1/4ピッチ長さを使うことは、出口レンズ212がフォーカスの外にあることを引き起こし、それによりレーザー出力の発散とスポットサイズの両方が、入力発射角が変動させるにつれて変動させる。

【0043】

図2Bに戻って参照すると、発明の一実施形態では、レーザービーム221は、オフ軸で光学的導波管202の第1の端部208中に発射され、よって光学的導波管202内に傾斜光線を生成する。オフ軸発射は、拡張された距離に渡って環状であり、光学軸の周りを回転することができる、出力ビームを生成することの可能性を有する。ボルテックスビームとしても知られるそのようなビームは、或る特別な材料処理応用について有用な特性を有することができる、レーザービーム221は、例えば、光学的導波管202に対して入口レンズ228をオフセットして、シフター230によって印加された横方向の変位に加えて入力ポート224に傾きを印加することによって、または傾斜インデックスレンズを入口レンズ228のために使う場合には、そのような傾斜インデックスレンズ上の角度付き入口表面を使って、オフ軸で発射されることができる。そのような傾きは、横方向の変位と垂直に、つまり光線が傾斜光線として発射されることを確かなものとするために、図2Bの平面に垂直に、印加することが好ましいであろう。オフ軸でレーザービーム221を発射する代替的な方法は、シフター230によって印加された横方向の変位の方向と好ましくは垂直な方向においてビーム発射機226への横方向の変位を印加することである。図7を再度参照すると、例えば、傾斜インデックス光学エレメント701が、僅かに横方向に変位された位置において導波管202に取り付けられるであろう。そのような追加の傾きまたは変位は、傾斜インデックスエレメント702のような、導波管202に先行される光学系にあって導波管202を追従する光学系ではなく、印加されるのみであるべきである。また、傾斜光線が、導波管202を通じた伝播の間保存されて残ることを確かなものとするために、この実施形態では、導波管コア204が断面で円形または楕円形であることが好まれる。

【0044】

発明の一実施形態では、発散調整エレメントが、光学的導波管内のレーザービームの発散を調節するために光学的導波管202の中央セクション内またはそれに近接して配置されて、よって出口レンズ212によって形成されたくびれ部直径を変動させる。図9Aを参照すると、発散調整エレメント900Aは、光学的導波管202中に制御可能なマイクロバンドを作り出すために、光学的導波管202の機械的に結合された複数のフィンガー903を含んだ機械的圧力ユニット902を含む。マイクロバンドは、光学的導波管202内のレーザービームの発散を増加する。

【0045】

ここで図9Bの実施形態に向かうと、光学的導波管202は、それぞれ第1と第2の端部208と210に結合された第1と第2のステップインデックス導波管セクション908と910を含む。第3のグレーデッドインデックス導波管セクション912が、第1と第2のステップインデックス導波管セクション908と910の間に結合されている。発散調整エレメント900Bは、グレーデッドインデックス導波管セクション912のそれぞれ温度または長さを変動させるためのヒーター904を含み、それにより光学的導波管202内のレーザービームの発散を変動させる。グレーデッドインデックス導波管セクション912内の光線の軌跡が、光線920で示されている。第2のステップインデックス導波管セクション910のコア直径は、好ましくは第1のステップインデックス導波管セクション908のものよりも大きく、第2のステップインデックス導波管セクション910中へのより良い光結合を許容する。第1の導波管セクション908はオプションであり、省略されることができる。この場合には、オプションなビームが第3のグレーデッドインデックス導波管セクション912中に直接発射されるであろう。

【 0 0 4 6 】

図 9 A と 9 B の実施形態の発散調整エレメントを使う、レーザービームのビームパラメータ積を変動させるための光学デバイスは、出口レンズ 2 1 2 を出るレーザービームのビームパラメータ積が光学的導波管 2 0 2 内の発散を調整することにより変動させることができるので、レーザービームの入力収束角を変動させるためにビーム発射機 2 2 6 を要求はしない。

【 0 0 4 7 】

図 4 を更に参照して図 1 0 に向かうと、振動ユニット 1 0 0 0 が、第 1 のレーザービームくびれ部 2 3 1 と、従ってターゲット（ワークピース）4 1 0 上の第 2 のレーザービームくびれ部 4 0 8 のスペckル構造を削減するために、レーザービームがそこに発射された時に、矢印 1 0 0 2 で示されたように光学的導波管 2 0 2 を振動するために光学的導波管 2 0 2 に好ましくは結合されている。振動ユニット 1 0 0 0 は、例えば、音響トランスデューサー、超音波トランスデューサー、または機械的バイブレーターを含むことができる。

10

【 0 0 4 8 】

本発明は、光学的配送導波管の多くのタイプと働くことができる。図 1 1 A から 1 1 C を参照すると、光学的導波管 2 0 2 が断面で示されている。図 1 1 A では、光学的導波管 2 0 2 は、コア 2 0 4 とクラディング 2 0 6 を有するステップインデックス光学ファイバーである。インデックスプロファイル 1 1 1 0 A は、単一の反射率ステップを示す。図 1 1 B では、ダブルクラッド光学的導波管 1 1 1 2 が、それぞれ第 1 と第 2 のクラディング 1 1 1 6 と 1 1 1 8 によって取り囲まれるコア 1 1 1 4 を有する、インデックスプロファイル 1 1 1 0 B は、コア 1 1 1 4 と第 1 のクラディング 1 1 1 6 に対応する 2 つの反射率ステップを示す。図 1 1 C では、グレーデッドインデックス導波管 1 1 2 0 が、インデックスプロファイル 1 1 1 0 C によって示されているように、反射率の緩やかな変動、好ましくは放物線変動を有する。全てのそれらの導波管タイプは、光学的導波管 2 0 2 の代わりに使われることができる。更には、フォトニック結晶および/またはマイクロ構造の導波管が使われることができる。フォトニック結晶導波管は一般に、ステップインデックスファイバーよりも大きな発散においてレーザービームをガイドできる。フォトニック結晶導波管によって供されるいくつかの興味深い可能性は、出力くびれ部直径と出力発散の間の望ましい機能的関係をデザインすることの可能性を含み、よってターゲット 4 1 0 における変動させるビームサイズとビーム発散の予め規定された比で B P P を変動させる。

20

30

【 0 0 4 9 】

ここで図 1 2 を参照すると、発明のレーザー材料処理システム 1 2 0 0 は、レーザービーム 1 2 0 4 のターゲット 4 1 0 への配送のために、図 4 のファイバー配送システム 4 0 0 を含む。ファイバー配送システム 4 0 0 は、シャッターボックス 1 2 0 2 によってと、ターゲット 4 1 0 上で（図 4 に見られる）第 2 のレーザービームくびれ部 4 0 8 を撮像するためのカメラ 1 2 1 0 によって、補足される。レーザー材料処理システム 1 2 0 0 は更に、入力ファイバー 1 2 0 8 を介してシャッターボックス 1 2 0 2 に結合されたレーザービーム 1 2 0 4 を提供するのためのレーザー 1 2 0 6 と、カメラ 1 2 1 0 に結合されたカメラコントローラー 1 2 1 2 を含む。シャッターボックス 1 2 0 2 は、ターゲット 4 1 0 に配送されたレーザービーム 1 2 0 4 の制御可能な遮断を提供するためのシャッター 1 2 1 4 を含む。ビーム発射機 2 3 0 が、シャッターボックス 1 2 0 2 内に好ましくは配置されている。入力ファイバー 1 2 0 8 は、シャッターボックス 1 2 0 2 内の入力ポート 2 2 4 に結合されている。カメラコントローラー 1 2 1 2 は、カメラ 1 2 1 0 によって撮像された第 2 のビームくびれ部 4 0 8 の直径を決定するように構成されており、横方向の変位可能なレンズ 4 1 8 の横方向の位置を調節するために横方向の変位可能なレンズ 4 1 8 のトランスレーター 4 2 2 に結合されている。カメラコントローラー 1 2 1 2 は更に、上述したようにターゲット 4 1 0 上で第 2 のレーザービームくびれ部 4 0 8 の直径の予め決められた値に達するために、光学的導波管 2 0 2 中に発射されたレーザービームの収束角および/または発射角を調節するように構成されている。レーザー材料処理システム 1 2 0 0

40

50

はまた、光学的導波管 202 においてレーザービームのラマン散乱によって作成された光を抑制するために、図示しない好適に置かれたラマンフィルターを含むことができる。

【0050】

レーザー材料処理システム 1200 は、横方向の変位可能なレンズ 418 の各変位について、ターゲット 410 上の第 2 のレーザービームくびれ部 408 の直径をカメラ 1210 を使って測定することによりカリブレートされることができる。それらの測定は、レーザー材料処理システム 1200 のクローズドループ動作を可能とするように転送曲線またはルックアップテーブルを作り出すのに使われ、ターゲット 410 上の第 2 のくびれ部 408 の直径のダイナミックな、インプロセスの、リアルタイムな変動を許容する。例えば、レーザー切断では、ターゲット 410 を通したレーザービーム 1204 の貫通を容易にするために初期スポットサイズが削減されてもよく、その後スポットサイズはより良い切断動作のために増加されることができる、更には、レーザー材料処理システム 1200 は、図 3 A のフラットトップ分布と図 3 B から 3 D の環状分布を含んだ、望ましい光学パワー密度分布のターゲット 410 上の第 2 のくびれ部 408 を提供するように構成されることができる。

10

【0051】

一般に、レーザービームのビームパラメータ積を変動させるための方法は、

(a) それぞれ第 1 と第 2 の端部 208 と 210 を有するステップインデックス光学的導波管 202 を含んだ光学的導波管サブアッセンブリ 200 と、第 2 の端部 210 に結合した出口レンズ 212 を提供することと、

20

(b) 光学的導波管 202 の第 1 の端部 208 中に可変の収束角においておよび/または可変の発射角においてレーザービーム 215 を発射することと、

(c) 光学的導波管 202 の光学軸に対する局所的な光線角の大きさの分布を実質的に保持しなから、第 2 の端部 210 において実質的に回転的に対称的な分布を形成するように、光学的導波管 202 によって導波されたレーザービーム 215 の光線角を可能とするために、光学的導波管 202 中でステップ (b) で発射されたレーザービーム 215 を伝播することと、

(d) ステップ (c) で伝播したレーザービーム 215 が、光学的導波管 202 の第 2 の端部 210 を出て出口レンズ 212 を通して伝播することを引き起こすことと、出口レンズ 212 を出るレーザービームにおいて第 1 のレーザービームくびれ部 218 を形成することと、ここで第 1 のレーザービームくびれ部 217 は、光学的導波管 202 の第 2 の端部 210 における光線角の回転的な対称性のために実質的に回転的に対称的であることと、

30

(e) 出口レンズ 212 を出るレーザービーム 215 のビームパラメータ積を変動させるように、収束角および/または発射角を変動させることと、を含む。

【0052】

一実施形態では、ステップ (b) で、図 3 B から 3 D に示されたもののような、環状形状の第 1 のレーザービームスポットを作り出すべく、発射角は、ゼロ発射角を含んではない。

40

【0053】

発明の 1 つ以上の実施形態の前述の記載は、描写と記載の目的のために呈示された。網羅的であることや開示された正確な形に発明を限定することは意図していない。多くの修正や変形が、上記の教示内容に照らして可能である。発明の範囲は、この詳細な記載によってではなく、むしろここに添付されたクレームによって限定されることが意図されている。

【図1A】

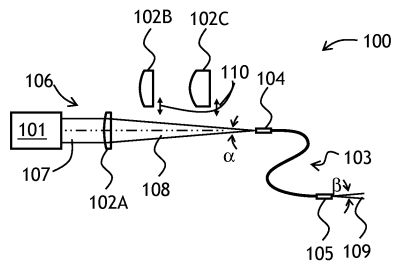


FIG. 1A

従来技術

【図1C】

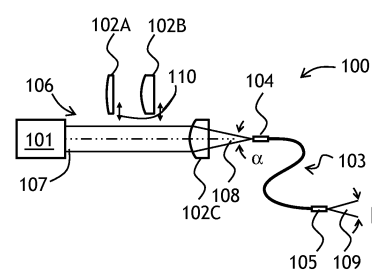


FIG. 1C

従来技術

【図1B】

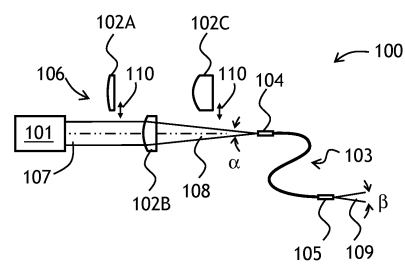


FIG. 1B

従来技術

【図2A】

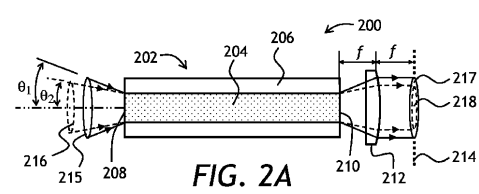


FIG. 2A

【図2B】

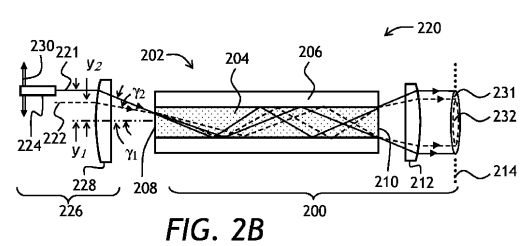


FIG. 2B

【図2C】

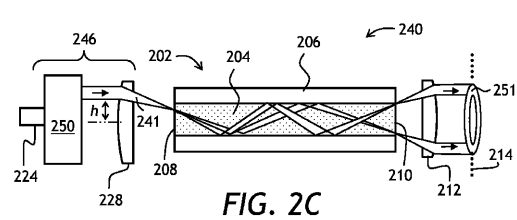


FIG. 2C

【図3A】

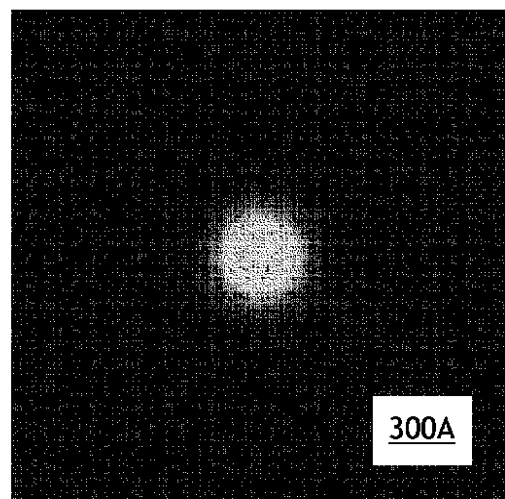


FIG. 3A

【 3 B 】

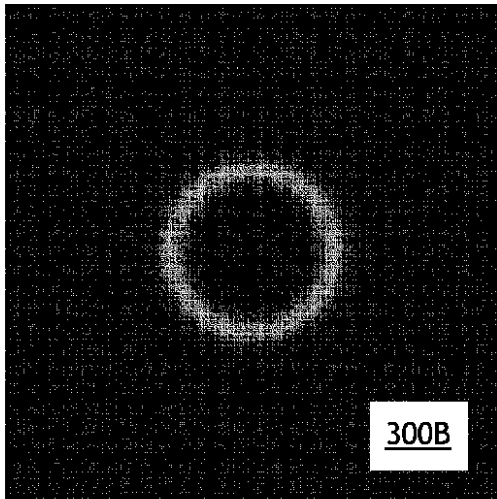


FIG. 3B

【 3 C 】

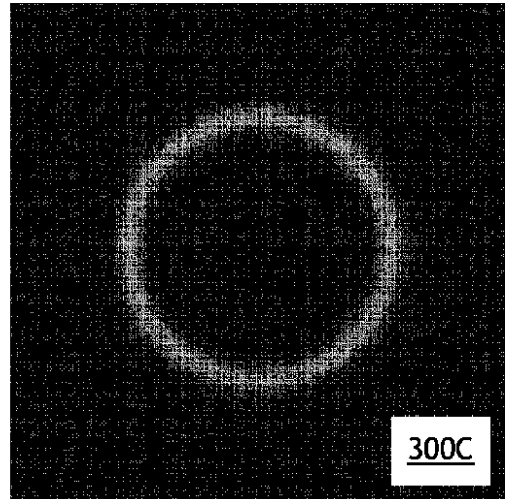


FIG. 3C

【 3 D 】

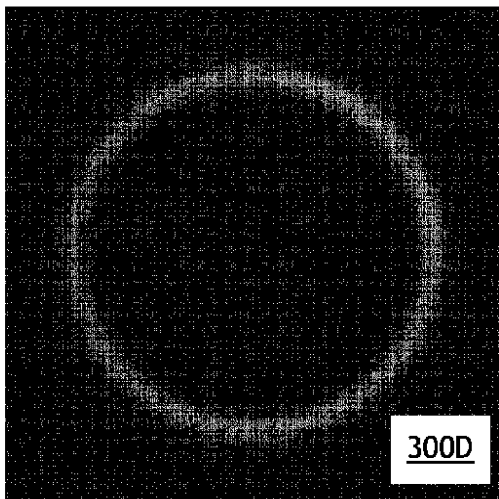


FIG. 3D

【 4 】

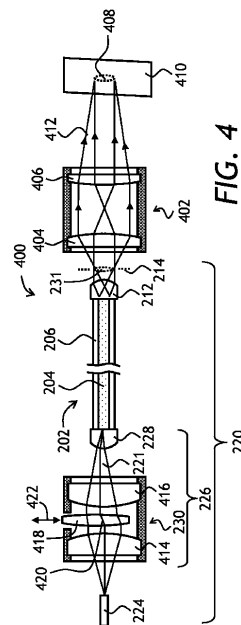


FIG. 4

【 図 5 】

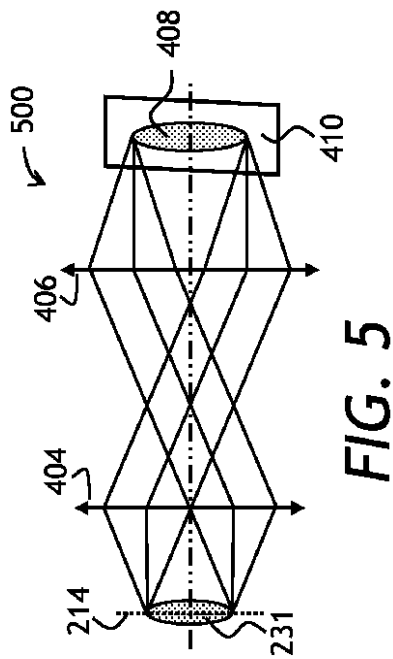


FIG. 5

【 図 6 】

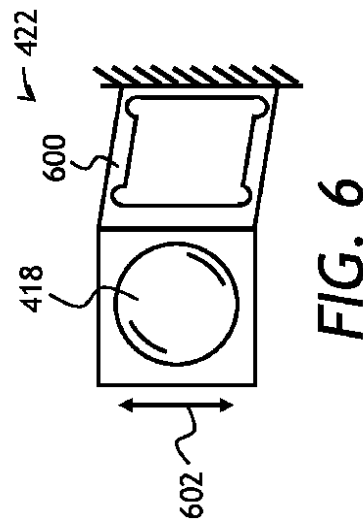


FIG. 6

【 図 7 】

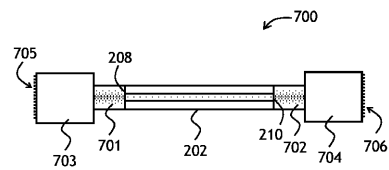


FIG. 7

【 図 8 】

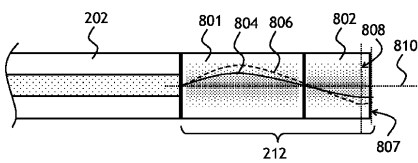


FIG. 8

【 図 1 1 A 】

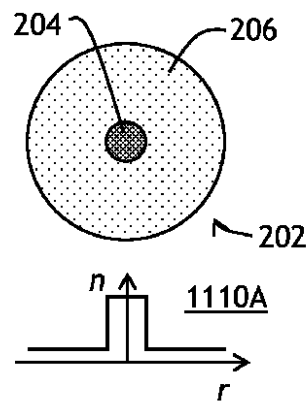


FIG. 11A

【 図 9 A 】

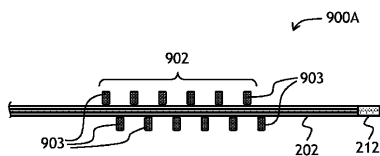


FIG. 9A

【 図 9 B 】

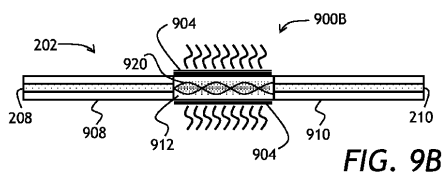


FIG. 9B

【 図 1 0 】

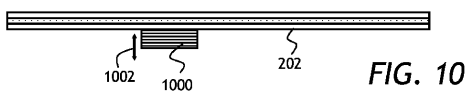


FIG. 10

【 1 1 B 】

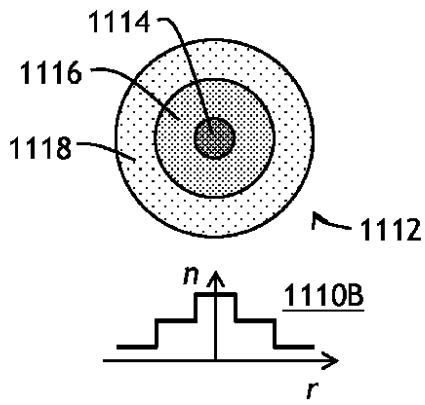


FIG. 11B

【 1 1 C 】

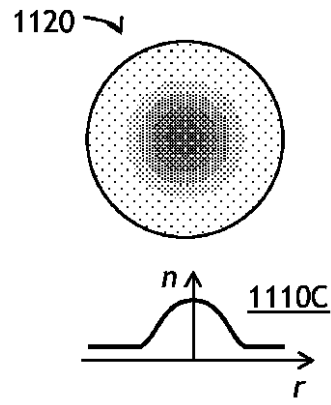


FIG. 11C

【 1 2 】

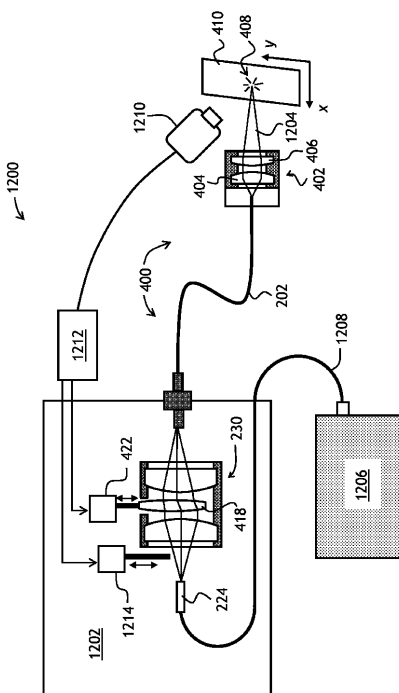


FIG. 12

フロントページの続き

- (72)発明者 ミュンデル、 マーティン エイチ .
アメリカ合衆国 9 4 6 1 0 カリフォルニア州 オークランド ヴァレ ビスタ アベニュー
4 4 9
- (72)発明者 クライナー、 ダーヴ
アメリカ合衆国 9 4 0 4 3 カリフォルニア州 マウンテン ビュー モーガン ストリート
1 7 2 1

審査官 奥村 政人

- (56)参考文献 特表2009-525189(JP,A)
特開2003-200286(JP,A)
実開昭58-057385(JP,U)
特開平07-227686(JP,A)
特表2006-512616(JP,A)
特開2001-094177(JP,A)
特開2007-171676(JP,A)
特開2006-278525(JP,A)
特開平03-236003(JP,A)
特開2011-245543(JP,A)
特表2007-518566(JP,A)
特開昭59-042502(JP,A)
実開昭59-190487(JP,U)
特開昭57-124586(JP,A)
特開2010-036189(JP,A)
米国特許出願公開第2010/0044106(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 2 B 6 / 2 6 - 6 / 2 7
G 0 2 B 6 / 3 0 - 6 / 3 4
G 0 2 B 6 / 4 2 - 6 / 4 3
B 2 3 K 2 6 / 0 0 - 2 6 / 7 0