

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6132995号
(P6132995)

(45) 発行日 平成29年5月24日 (2017.5.24)

(24) 登録日 平成29年4月28日 (2017.4.28)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 S 5/42 (2006.01) H O 1 S 5/42

請求項の数 8 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2016-572776 (P2016-572776)	(73) 特許権者	000006013
(86) (22) 出願日	平成28年4月7日 (2016.4.7)		三菱電機株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/061455		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(87) 国際公開番号	W02016/189983	(73) 特許権者	504132272
(87) 国際公開日	平成28年12月1日 (2016.12.1)		国立大学法人京都大学
審査請求日	平成28年12月12日 (2016.12.12)		京都府京都市左京区吉田本町36番地1
(31) 優先権主張番号	特願2015-107329 (P2015-107329)	(73) 特許権者	000236436
(32) 優先日	平成27年5月27日 (2015.5.27)		浜松ホトニクス株式会社
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(出願人による申告) 平成26年度、国立研究開発法人 科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業「フォトニ ック結晶レーザの高輝度・高出力化」委託研究、産業技 術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(73) 特許権者	000116024
			ローム株式会社
			京都府京都市右京区西院溝崎町21番地
		(74) 代理人	100101454
			弁理士 山田 卓二
早期審査対象出願		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 レーザモジュールおよびレーザ加工装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

同一平面上に配置され、光ビームをそれぞれ放出する複数のフォトニック結晶面発光レーザ素子と、

前記複数のフォトニック結晶面発光レーザ素子から放出された光ビームのビーム径を拡大する凹レンズアレイと、

コリメートレンズを構成する開口部を複数個有し、前記凹レンズアレイによりビーム径が拡大された光ビームを平行化するコリメートレンズアレイと、

前記コリメートレンズアレイにより平行化された光ビームを集光する集光レンズと、
前記集光レンズにより集光された光ビームが入射端に入射し出射端から出射する光ファイバとを備え、

前記コリメートレンズアレイの開口部は、前記コリメートレンズアレイに入射する光ビームのエネルギーを100%として94.0%以上99.5%以下のエネルギーの光ビームを透過させるように構成されたことを特徴とするレーザモジュール。

【請求項2】

同一平面上に配置され、ビームをそれぞれ放出する複数のフォトニック結晶面発光レーザ素子と、

前記複数のフォトニック結晶面発光レーザ素子から放出された光ビームのビーム径を拡大する凹レンズアレイと、

コリメートレンズを構成する開口部を複数個有し、前記凹レンズアレイによりビーム径

10

20

が拡大された光ビームを平行化するコリメートレンズアレイと、

前記コリメートレンズアレイにより平行化された光ビームを集光する集光レンズと、
前記集光レンズにより集光された光ビームが入射端に入射し出射端から出射する光ファイバとを備え、

前記コリメートレンズアレイの開口部は、該開口部に入射する光ビームのガウシアンビーム半径の 0.6 倍以上 0.85 倍以下の大きさの径を有することを特徴とするレーザモジュール。

【請求項 3】

前記コリメートレンズアレイの開口部は互いに隣接して設けられており、
前記フォトリック結晶面発光レーザ素子の配置間隔は、コリメートレンズアレイの開口径の 2 倍の大きさに等しいことを特徴とする、
請求項 1 または 2 に記載のレーザモジュール。 10

【請求項 4】

下記式で表される前記フォトリック結晶面発光レーザ素子から前記集光レンズまでの光線行列において要素 C の値が 0 であり、かつ、

前記集光レンズの焦点距離と、前記集光レンズの中心から前記光ファイバの入射端まで距離とが等しいことを特徴とする、

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のレーザモジュール。

【数 1】

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$$

20

【請求項 5】

前記光線行列において、さらに要素 B の値が 0 である、

請求項 4 に記載のレーザモジュール。

【請求項 6】

前記凹レンズアレイは、前記複数のフォトリック結晶面発光レーザ素子の直後に配置されている、

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載のレーザモジュール。

【請求項 7】

前記フォトリック結晶面発光レーザ素子は、ガウシアン形状のシングルモードビームを放出することを特徴とする、

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載のレーザモジュール。

【請求項 8】

請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載のレーザモジュールと、

前記光ファイバから出射した光ビームを被加工材に向けて照射するための加工ヘッドとを備えたことを特徴とするレーザ加工装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数の面発光レーザ素子を備えたレーザモジュールおよびこれを用いたレーザ加工装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来のレーザモジュールは、複数のレーザ素子（半導体レーザ素子）と、コリメートレンズアレイ（または複数のコリメートレンズ）と、集光レンズと、光ファイバとを備えており、レーザ素子が放出する光ビームをコリメートレンズアレイにより平行化し、集光レンズにより集光し、そして光ファイバに結合している。このように、複数のレーザ素子を用いることでレーザモジュールを高出力化し、ファイバ出射後の光ビームの高輝度化を図っている。特許文献 1、2 に開示されたレーザモジュールでは、レーザ素子として面発光 50

レーザ素子が用いられている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2007-248581号公報（第12頁1～8行、29～31行、図18）

【特許文献2】特許第2848279号（第2頁[0010]～[0012]、図1）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

10

ファイバ出射後の光ビームを高輝度化するためには、レーザモジュールの高出力化に加えて、ファイバ出射後の光ビームの集光性を高めることが必要となる。

【0005】

ところで、複数の光ビームを1本の光ファイバに結合する場合、コリメートレンズアレイを通過する平行な光ビームが互いに接しない状態では、光ビームが互いに接した状態に比べて、ファイバ出射後の光ビームの集光性が低下する。従って、ファイバ出射後の光ビームの集光性を高めるには、コリメートレンズアレイを通過する光ビームを互いに接した状態とすることが好ましい。

【0006】

しかし、特許文献1、2に開示されたレーザモジュールでは、コリメートレンズアレイにおいて光ビームを透過させる開口部が互いに離れて配置されており、通過する光ビームを互いに接した状態とすることができず、従ってファイバ出射後の光ビームの集光性が低下してしまう。このように、特許文献1、2では、ファイバ出射後の光ビームについて集光性を向上させる検討が充分になされていない。

20

【0007】

本発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、ファイバ出射後の光ビームが従来よりも高輝度化されたレーザモジュールを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

30

本発明に係るレーザモジュールは、
同一平面上に配置され、光ビームをそれぞれ放出する複数のフォトニック結晶面発光レーザ素子と、
コリメートレンズを構成する開口部を複数個有し、複数のフォトニック結晶面発光レーザ素子から放出された光ビームを平行化するコリメートレンズアレイと、
コリメートレンズアレイにより平行化された光ビームを集光する集光レンズと、
集光レンズにより集光された光ビームを一端側で受け、外部へ伝送する光ファイバとを備える。

【0009】

本発明の一態様で、

コリメートレンズアレイの開口部は、コリメートレンズアレイに入射する光ビームのエネルギーを100%として94.0%以上99.5%以下のエネルギーの光ビームを透過させるように構成されている。

40

【0010】

本発明の一態様で、

コリメートレンズアレイの開口部は、開口部に入射する光ビームのガウシアンビーム半径の0.6倍以上0.85倍以下の大きさの径を有する。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、ファイバ出射後の光ビームが従来よりも高輝度化されたレーザモジュールを提供することができる。

50

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】本発明の実施の形態 1 によるレーザモジュールを示す構成図である。

【図 2】複数のレーザ素子を光ビームの出射方向から見た図である。

【図 3】P C S E L 素子の例示的な構造を示す断面図ある。

【図 4 A】フォトリック結晶層内部における光の振る舞いを示す図である。

【図 4 B】フォトリック結晶層内部における光の振る舞いを示す図である。

【図 4 C】フォトリック結晶層内部における光の振る舞いを示す図である。

【図 5 A】フォトリック結晶層内部における光の面内共振を示す図である。

【図 5 B】フォトリック結晶層内部における光の面直取り出しを示す図である。

10

【図 6 A】ファイバ入射端での光ビームの重ね合わせを示す図である。

【図 6 B】図 6 A の部分拡大図である。

【図 7】レーザ素子の発光面から出射するガウシアン形状の光ビームを示す図である。

【図 8 A】ファイバ入射端での光ビームのビームプロファイルを示す図である。

【図 8 B】図 8 A の部分拡大図である。

【図 9】本発明の実施の形態 1 による、ファイバ出射端での光ビームの輝度を増大させる方法を説明するためのグラフである。

【図 10 A】本発明の実施の形態 1 による光学シミュレーションを説明するための図である。

【図 10 B】本発明の実施の形態 1 による光学シミュレーションを説明するための図である。

20

【図 11】本発明の実施の形態 2 による、ファイバ出射端での光ビームの輝度を増大させる方法を説明するためのグラフである。

【図 12 A】本発明の実施の形態 2 による光学シミュレーションを説明するための図である。

【図 12 B】本発明の実施の形態 2 による光学シミュレーションを説明するための図である。

【図 13】本発明の実施の形態 4 によるレーザ加工装置を示す構成図である。

【図 14】本発明の実施の形態 5 によるレーザモジュールを示す構成図である。

【図 15】本発明の実施の形態 6 によるレーザモジュールを示す構成図である。

30

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。各図において、同一または同様の構成には同一の符号を付している。

【 0 0 1 4 】

実施の形態 1 .

〔全体構成〕

図 1 は、本発明の実施の形態 1 によるレーザモジュール 10 を示す構成図である。

レーザモジュール 10 は、複数のレーザ素子 1、凹レンズアレイ 3、コリメートレンズアレイ 4、集光レンズ 5、光ファイバ 6 を備えており、複数のレーザ素子 1 から放出される光ビーム（レーザビーム）を光ファイバ 6 に結合するように構成されている。レーザモジュール 10 は、マウント部材（図示せず）の上に実装されてもよい。以下では、レーザモジュール 10 を材料加工（金属、ガラス、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）、樹脂などの切断加工、溶接）に用いる例について説明するが、その他光通信などに利用してもよい。

40

【 0 0 1 5 】

なお、図 1 において、レーザ素子 1 から出射して凹レンズアレイ 3 に入射するまでの光ビームに符号 11 を、凹レンズアレイ 3 を通過してコリメートレンズアレイ 4 に入射するまでの光ビームに符号 12 を、コリメートレンズアレイ 4 を通過して集光レンズ 5 に入射するまでの光ビームに符号 13 を、集光レンズ 5 を通過して光ファイバ 6 に入射するまで

50

の光ビームに符号 1 4 を、光ファイバ 6 から出射する光ビームに符号 1 5 を付している。ただし、これらの符号は形式的に付しているのもであって、同じ符号を付した光ビームであっても、進行とともにビーム径等は変化する。

【 0 0 1 6 】

複数のレーザ素子 1 は、ベース 2 の主面（同一平面）上に実装されており、それぞれ光ビーム 1 1 を放出する。レーザ素子 1 は、光ビームが基板面に対して垂直に出射する面発光レーザ素子である。レーザ素子 1 は、後述するフォトニック結晶面発光レーザ（P C S E L）素子であってもよい。ベース 2 は板状であるが、レーザ素子を冷却するための冷却機構、レーザ素子に電力を供給するための給電回路などを含んでもよい。図 2 に示すように、複数のレーザ素子 1 は六方格子状に配置されている。

10

【 0 0 1 7 】

なお、図 2 はレーザ素子 1 の配置を概略的に示したものであり、レーザ素子 1 の形状、個数、配置間隔はこれに限定されない。例えば、図 2 ではレーザ素子 1 を円形に図示しているが、四角形、六角形など他の形状であってもよい。図 2 では、レーザ素子 1 は 2 次元状に配置されているが、1 次元状に配置されてもよい。

【 0 0 1 8 】

凹レンズアレイ 3 は、レーザ素子 1 の直後に配置されており、各レーザ素子 1 から放出された光ビーム 1 1 のビーム径を拡大する。凹レンズアレイ 3 は、コリメートレンズアレイ 4 と併せてビームエキスパンダを構成する。凹レンズアレイ 3 には、各レーザ素子 1 から放出された光ビーム 1 1 をそれぞれ同軸上で受けるように、複数のレーザ素子 1 に 1 対 1 対応する複数の凹レンズが設けられている。凹レンズアレイ 3 において、光ビーム 1 1 を透過させて凹レンズを構成する部分を開口部 3 1 と称す。凹レンズアレイ 3 上の開口部 3 1 以外の部分であって光ビーム 1 1 を透過させず回折、反射（以下、回折等という）を生じさせる部分を非開口部と称す。開口部 3 1 は、複数のレーザ素子 1 が六方格子状に配置されていることに対応して六方格子状に配置されている。

20

【 0 0 1 9 】

なお、実施形態 1 において、レーザモジュール 1 0 を小型化する上では、凹レンズアレイ 3 を設けてレーザ素子 1 とコリメートレンズアレイ 4 との間隔を小さくすることが好ましいが、これは必須の構成ではない。つまり、レーザ素子 1 により放出された光ビーム 1 1 が直接にコリメートレンズアレイ 4 に入射する構成であってもよい。

30

【 0 0 2 0 】

一方、レーザ素子 1 として P C S E L 素子を用いる場合、以下の通り凹レンズアレイ 3 を用いることが有用である。フォトニック結晶面発光レーザは、発散角が小さい（ビーム品質の良い）光ビームを放出する。従って、光ビームの伝搬中に、ビーム径が広がる程度が低い。ここで、本実施形態 1 では、後述するようにコリメートレンズアレイ 4 の位置でビーム径の最適化を行う。レーザ素子 1 から放出される光ビームを凹レンズアレイ 3 で拡大することにより、レーザ素子 1 からコリメートレンズアレイ 4 までの距離を小さくした状態で、前記ビーム径の最適化を行うことができる。

【 0 0 2 1 】

コリメートレンズアレイ 4 は、凹レンズアレイ 3 を通過した光ビーム 1 2 を互いに平行な（または略平行な）光ビーム 1 3 に変換する。コリメートレンズアレイ 4 は、凸レンズアレイであってもよい。コリメートレンズアレイ 4 には、光ビーム 1 2 をそれぞれ同軸上で受けるように、複数のレーザ素子 1（および凹レンズアレイ 3 の開口部 3 1）に 1 対 1 対応する複数のコリメートレンズが設けられている。コリメートレンズアレイ 4 において、光ビームを透過させてコリメートレンズを構成する部分を開口部 4 1 と称す。なお、コリメートレンズアレイ 4 上の開口部以外の部分であって光ビームを透過させず回折等を生じさせる部分を非開口部と称す。

40

【 0 0 2 2 】

開口部 4 1 は、複数のレーザ素子 1 が六方格子状に配置されていることに対応して、平面上で六方稠密に配置されている。つまり、開口部 4 1 どうしは、互いに隣接して設けら

50

れている。言い換えると、開口部 4 1 の中心間の距離は、開口部 4 1 の半径（コリメートレンズアレイ 4 の開口径）の 2 倍の大きさに等しい。また、コリメートレンズアレイ 4 は、各開口部 4 1 を通過した隣り合う平行な光ビーム 1 3 どうしが互いに接する（または略接する）位置に配置される。

【 0 0 2 3 】

ここで、一般的に、光ビームのビーム径は、光軸に対して直交する面において、光ビームの放射強度がピーク値（または光軸上の値）の $1/e^2$ （約 13.5%）となるときの強度分布の半幅と定義される。この明細書では、このように定義されるビーム径をガウシアンビーム半径と称す。ただし、本発明の実施形態における「ビーム径」はこのように定義された大きさに限定されることなく、必要な光ビームのエネルギー切出し率に応じて変化させることができる。

10

【 0 0 2 4 】

集光レンズ 5 は、コリメートレンズアレイ 4 を通過した複数の光ビーム 1 3 を、光ファイバ 6 の（コアの）入射端に向けて集光する。集光レンズ 5 は凸レンズであってもよい。上記の通り、コリメートレンズアレイ 4 を通過した隣り合う光ビーム 1 3 どうしは互いに接しているので、集光レンズ 5 を通過した光ビーム 1 4 も、隣り合う光ビーム 1 4 どうしが互いに接した状態で光ファイバ 6 の入射端へ入射する。これにより、ファイバ出射後の光ビーム 1 5 の集光性が向上する。

【 0 0 2 5 】

光ファイバ 6 に入射する複数の光ビーム 1 4 は、光ファイバ 6 のコアを伝搬して 1 本の光ビームに結合される。そして、光ファイバ 6 の出射端から高出力の光ビーム 1 5 が出射する。

20

【 0 0 2 6 】

光ファイバ 6 を用いて光ビームを外部まで伝送することにより、複雑なビーム伝送光学系が必要とならず、これはさまざまな応用にとって好都合である。また、ファイバ結合前の強度分布が、ファイバ伝送の過程で均一化され、従ってビーム品質を向上させることができる。特に、ファイバ伝送により、2 次元レーザ加工にとって重要な要素である光ビームの回転対称性が実現される。

【 0 0 2 7 】

[P C S E L 素子]

30

次に、レーザ素子 1 の一例である P C S E L 素子について説明する。

P C S E L 素子は、光の波長と同程度の周期を有するフォトニック結晶構造が活性層近傍に設けられた面発光型の半導体レーザ素子であり、一様なコヒーレント光を放出可能である。P C S E L 素子の作製に用いられる半導体材料とフォトニック結晶構造の周期とを調節することにより、P C S E L 素子から出射する光ビームの波長を制御できる。

【 0 0 2 8 】

具体的には、従来のレーザダイオードでは、出射ビームの横モードが発光面の面積に応じて変化し、高出力化のために発光面を大きくするほど光ビームの集光性が低下するという問題があった。これに対して P C S E L 素子では、発光面を大きくしても高い集光性を維持したまま高出力化しうることが知られている。また、縦モードについては、従来のレーザダイオードでは活性層のゲイン幅に応じた一定領域の波長を含む光ビームが出射するのに対して、P C S E L 素子ではフォトニック結晶の格子定数で規定された単一波長の光ビームのみが出射する。

40

【 0 0 2 9 】

図 3 は、P C S E L 素子の例示的な構造を示す断面図である。図 3 中、光ビームの放出方向を z 方向と規定し、+ z 側を表側、- z 側を裏側とする。

積層体 1 0 0 の材料としては、例えば G a A s（ガリウムヒ素）が用いられる。P C S E L 素子は、積層体 1 0 0 と、積層体 1 0 0 の表面に設けられた窓状電極 1 1 0 と、積層体 1 0 0 の裏面に設けられた裏面電極 1 2 0 と、窓状電極 1 1 0 により形成される窓部に設けられた A R (anti reflection) コート（無反射コート）層 1 3 0 とを備える。この窓

50

部が光ビームの出射面（発光面）となる。

【0030】

積層体100は、基板101、n型クラッド層102、活性層103、キャリアブロック層104、フォトリック結晶層105、p型クラッド層106およびp型コンタクト層107を有する。キャリアブロック層104はアンドープ層である。フォトリック結晶層105では、符号105aで表されるスラブ層に空孔105bが形成されている。フォトリック結晶層105の格子形状は、正方格子、三角格子、直交格子など任意である。

【0031】

なお、上記PCSEL素子の構成において、活性層103、キャリアブロック層104、フォトリック結晶層105層の順序は逆転していてもよい。

10

【0032】

窓状電極110と裏面電極120との間にバイアス電圧を印加すると、活性層103で発光が生じ、フォトリック結晶層105により変調され、基板面に垂直な方向（z方向）にレーザビームとして放出される。

【0033】

レーザの発振波長は、フォトリック結晶の材料と周期により決定される。上記PCSEL素子では、フォトリック結晶層105に用いられるGaAsの屈折率は約3.5であり、空孔（空気）の屈折率は1である。空孔105bの占める体積（16%）とPCSEL素子の積層構造とを考慮すると、活性層103付近の実効屈折率は約3.3程度となる。このとき、フォトリック結晶の周期は $980\text{ nm} / 3.3 = 295\text{ nm}$ となる。ただし、この周期は、積層体100の積層構造等に応じて変化する。

20

【0034】

次に、PCSEL素子の例示的な製造方法（工程S1～S4を含む）について簡単に説明する。

（S1）基板101の裏面に、n型クラッド層102、活性層103、キャリアブロック層104およびスラブ層105aを例えば有機金属気相成長法（MOCVD）によりエピタキシャル成長させる。

（S2）スラブ層105aの上でレジストをパターニングし、例えば反応性イオンエッチング（RIE）によりスラブ層105aをエッチングして空孔105bを形成することにより、フォトリック結晶層105を作製する。

30

（S3）フォトリック結晶層105の裏面に、p型クラッド層106とp型コンタクト層107を例えば有機金属気相成長法によりエピタキシャル再成長させる。

（S4）n型クラッド層102の表面に窓状電極110を、p型コンタクト層107の裏面に裏面電極120をそれぞれ蒸着により設ける。

【0035】

次に、フォトリック結晶内部における光の振る舞いを示す図4、図5を用いて、PCSELが面発光レーザ光源として動作する原理について説明する。

図4は、フォトリック結晶層105の上面図である。図4では、例示的に空孔105bの形状を真円（または略真円）としている。フォトリック結晶層105は活性層103の近傍に位置するので、活性層103で生じた光に対する束縛作用を示す。フォトリック結晶の格子形状は任意であるが、ここでは設計が容易な正方格子状であるとする。フォトリック結晶の格子定数は、活性層103で生じる光の波長 λ と等しい。

40

【0036】

例えば、図4Aに矢印で示す波長の光201が生じた場合を考える。フォトリック結晶の格子定数が λ のとき、光201は図4Bに示すように 90° または 180° の方向に回折され、それぞれ回折光2021、2022が生じる。回折光2021、2022はさらに図4Cに示すように 90° または 180° の方向に回折され、それぞれ回折光2031、2032が生じる。図4Cでは、回折光2021と回折光2032、および回折光2022と回折光2031がそれぞれ干渉して定在波を形成することがわかる。このように 90° 、 180° 方向の回折が繰り返され、回折光が互いに干渉することで、フォトリック

50

結晶内部には結晶方向に沿った定在波が生じることになる。その結果、光が閉じ込められて活性層 103 で光の共振が起こる。

【0037】

ところで、図4ではフォトニック結晶が形成された平面内での回折を考えたが、フォトニック結晶面に対して垂直な方向にも、当然に強め合いの干渉が生じる。その結果、面内で閉じ込められて共振した光は、面直方向にレーザビームとして取り出されることになる。

【0038】

図5Aは図4Cに対応する図であり、光の面内共振を示す。光路差が波長 λ の2倍に等しい回折光301, 302が互いに干渉する。なお、図4では空孔105bの形状を真円としたが、図5Aでは三角形としている。空孔105bの形状を三角形とすることにより、真円としたときよりもビーム品質が向上することが判っている。図5Bは上記光の面直取り出しを示す。光路差が波長 λ に等しい回折光303, 304が互いに干渉する。

【0039】

なお、PCSEL素子において光ビームは両面直方向(2方向)に放出されるどころ、1方向のみから出射すればよい用途の場合には、上記PCSEL素子のように裏面電極120による光の反射を利用し、表面側のみから光ビームが出射するような構成とされる。

【0040】

[光ビームの高輝度化]

レーザモジュール10を材料加工(特に金属切断加工)に用いる場合、被加工材に対して照射する光ビームは高輝度であることが好ましい。そこで以下では、ファイバ出射後の光ビーム15を高輝度化する方法について説明する。

【0041】

以下の説明では、図1に示すように、レーザ素子1の配置間隔を P_L 、レーザ素子1の発光面の開口径(半径)を d_p 、凹レンズアレイ3の開口径(半径)を d_e 、コリメートレンズアレイ4の開口径(半径)を d_c 、光ファイバ6のコア径(半径)を d_f 、光ビーム14の集光角を θ_i とする。レーザ素子1の配置間隔 P_L は、コリメートレンズアレイ4の開口径 d_c の2倍(または約2倍)の大きさである。集光角 θ_i は、六方格子の対角線上に位置するレーザ素子1の数を N (図2を参照)、集光レンズ5の焦点距離を f として、配置間隔 P_L を用いて下記の式(1)で表わされる。

【0042】

【数1】

$$\theta_i \approx \frac{N \cdot P_L}{2f} \quad \dots (1)$$

【0043】

一例では、配置間隔 P_L は約2mm、開口径 d_p は約0.1mm、開口径 d_e , d_c は約1mmであり、レーザ素子1と凹レンズアレイ3の間隔は約10mm、凹レンズアレイ3の(各凹レンズの)焦点距離は約10mm、凹レンズアレイ3とコリメートレンズアレイ4の間隔は約40mm、コリメートレンズアレイ4の(各コリメートレンズの)焦点距離は約50mm、コリメートレンズアレイ4と集光レンズ5の中心の間隔は約10mm、集光レンズ5の焦点距離 f は約40mm、集光レンズ5の中心から光ファイバ6の入射端までの距離は約40mmである。ただし、コリメートレンズアレイ4と集光レンズ5の間隔は短い方がよく、約0mmでもよい。

【0044】

ファイバ出射端での光ビーム15の輝度 B_o は、損失を無視すれば、1つのレーザ素子1から出射する光ビーム11の平均出力を P_o 、レーザ素子1の数を M 、ファイバ出射端での光ビーム15の発散角を θ_o 、ビーム径を w_o として、下記の式(2)で表される。

【0045】

【数 2】

$$B_0 = \frac{M \cdot P_0}{\pi^2 \theta_0^2 w_0^2} \quad \dots (2)$$

【0046】

ファイバ出射端での輝度 B_0 を増大させるためには、発散角 θ_0 とビーム径 w_0 を小さくして、光ビームの集光性を高めればよい。

【0047】

なお、全レーザ素子 1 の数 M は、対角線上のレーザ素子 1 の数 N を用いて下記の式 (3) 10

【0048】

【数 3】

$$M = \frac{3N^2 + 1}{4} \quad \dots (3)$$

【0049】

ここで、光ファイバ 6 に屈曲部等が存在すると、ファイバ内を伝送する光ビームはファイバ内でモード結合を起こし、ファイバ入射時に低次のモードで入射しても高次のモード 20 を含んだ形となってファイバ端から出射する。つまり、光ビームは、光ファイバ 6 で許容される最大発散角 (NA) で出射することとなる。レーザモジュール 10 を材料加工に用いる場合、光ファイバ 6 の長さは数 m ～ 十数 m 程度であり、光通信等に用いられる場合に比べて短くされる一方、光ファイバ 6 は屈曲部を含む形で用いられるのが一般的である。従って、発散角 θ_0 は開口数 NA に対応する角度 $\sin^{-1} NA$ に等しく (または略等しく)、ビーム径 w_0 は光ファイバ 6 のコア径 d_f に等しく (または略等しく) となると考えられる。ファイバ出射端での輝度 B_0 を増大させるためには、光ファイバ 6 のコア径 d_f と開口数 NA を小さくすればよい。

【0050】

光ファイバ 6 のコア径 d_f と開口数 NA を小さくするためには、光ビーム 14 の集光角 30 θ_i とファイバ入射端でのビーム径 w_f を小さくする必要がある。

【0051】

図 6 は、ファイバ入射端での光ビーム 14 の重ね合わせを示す図である。図 6 B は、図 6 A において破線で囲んだ部分の拡大図である。図中、各レーザ素子 1 に対応する光ビームのビーム径を画定する線のうち、光軸を挟んで上側の線を実線で、下側の線を破線で示す。

図 6 に示すように、各レーザ素子 1 に対応する光ビーム 14 は、ファイバ入射端の同じ位置で重ね合わされ、重ね合わされた後の光ビームのビーム径は、各光ビーム 14 のビーム径 w_f に等しくなる。図中、 $2w_f$ は光ビームのファイバ入射端でのビーム直径を示す。 40

【0052】

ここで、ファイバ入射端でのビーム径 w_f は、コリメートレンズアレイ 4 に入射する光ビーム 12 のビーム径を w_c 、波長を λ として、下記の式 (4) で表される。

【0053】

【数 4】

$$w_f = \left\{ \left(\frac{\pi \cdot w_c}{\lambda \cdot f} \right)^2 + \left(\frac{1}{w_c} \right)^2 \right\}^{-\frac{1}{2}} \quad \dots (4)$$

【0054】

式(4)は、下記の式(5)で表される範囲で単調減少となる。

【0055】

【数5】

$$w_c \geq \sqrt{\frac{\lambda \cdot f}{\pi}} \quad \dots (5)$$

【0056】

例えば $\lambda = 0.94 \mu\text{m}$ 、 $f = 40 \text{ mm}$ とすれば、式(5)より $w_c = 0.11 \text{ mm}$ の範囲で式(4)は単調減少となる。つまり、この範囲でコリメートレンズアレイ4の位置でのビーム径 w_c を大きくした方が、ファイバ入射端でのビーム径 w_f は小さくなる。

10

【0057】

光ファイバ6の最大受光角 $\theta_{max} (= \sin^{-1} \text{NA})$ は式(1)で表される集光角 θ_i 以上の大きさである必要があり、コア径 d_f は式(4)で表されるファイバ入射端でのビーム径 w_f 以上の大きさである必要がある。ただし、 θ_i と w_f を大きくしすぎると、上記の通り光ファイバ6内でモード結合が生じ、ファイバ出射端での輝度 B_o が小さくなると考えられる。輝度 B_o が最も大きくなるのは、光ファイバ6の最大受光角 θ_{max} が集光角 θ_i に一致し、コア径 d_f がビーム径 w_f に一致するときである。

【0058】

このとき、ファイバ出射端での光ビーム15について、ビーム品質の指標となるビームパラメータプロダクトBPP(ビーム径と発散角との積)を計算する。式(1)と式(4)から、BPPは下記の式(6)で表される。

20

【0059】

【数6】

$$BPP = \theta_i \cdot w_f = \frac{N \cdot P_L}{2f} \left\{ \left(\frac{\pi \cdot w_c}{\lambda \cdot f} \right)^2 + \left(\frac{1}{w_c} \right)^2 \right\}^{-1/2} \quad \dots (6)$$

【0060】

次に、ファイバ入射端での光ビーム14の輝度 B_i を計算する。輝度 B_i は下記の式(7)で表される。

30

【0061】

【数7】

$$B_i = \frac{M \cdot P_o}{\pi^2 \theta_i^2 w_f^2} = \frac{3N^2 + 1}{N^2} \frac{P_o \cdot f^2 \left(\left(\frac{\pi \cdot w_c}{\lambda \cdot f} \right)^2 + \left(\frac{1}{w_c} \right)^2 \right)}{\pi^2 P_L^2} \quad \dots (7)$$

【0062】

式(7)で、 N が1に対して十分に大きいとき、ファイバ入射端での輝度 B_i は N に依らず、ほぼ下記の式(8)で表される。

40

【0063】

【数8】

$$B_i = \frac{3P_o \cdot f^2 \left(\left(\frac{\pi \cdot w_c}{\lambda \cdot f} \right)^2 + \left(\frac{1}{w_c} \right)^2 \right)}{\pi^2 P_L^2} \quad \dots (8)$$

【0064】

上記の通り、ファイバ出射端での輝度 B_o が最も大きくなるのは、光ファイバ6の最大受光角 θ_{max} が集光角 θ_i に一致し、コア径 d_f がビーム径 w_f に一致するときである。このとき、光ファイバ6内での損失を無視すれば、ファイバ出射端での輝度 B_o はファ

50

ファイバ入射端での輝度 B_i に一致する。つまり、ファイバ入射端での輝度 B_i を増大させることにより、ファイバ出射端での輝度 B_o を増大させることができる。

【0065】

式(8)で表されるファイバ入射端での輝度 B_i は、式(5)で表される範囲で単調増加する。ただし、コリメートレンズアレイ4の開口径 d_c の大きさは決まっているので、ビーム径 w_c を大きくしすぎると、コリメートレンズアレイ4の非開口部に入射して開口部41を通過しない光ビーム13の割合が増加し、結果的に輝度 B_i は低下する。輝度 B_i の低下を防止するために開口径 d_c を大きくすることも考えられるが、このときレーザ素子1の配置間隔 P_L も大きくなって輝度 B_i が低下することが式(8)からわかる。

【0066】

つまり、ビーム径 w_c の大きさは開口径 d_c により制限されるため、単純に大きくすることはできない。ビーム径 w_c の最適な大きさを求めるためには、コリメートレンズアレイ4の非開口部により生じる回折等の影響を考慮する必要がある。

【0067】

実施形態1では、コリメートレンズアレイ4に入射する光ビーム12のエネルギーに対する、開口部41を通過する光ビームの有するエネルギーの割合(以下、エネルギー透過率と称す)を光学シミュレーションにより最適化することにより、ファイバ入射端での輝度 B_i を増大させ、従ってファイバ出射端での輝度 B_o を増大させることを意図している。エネルギー透過率の最適化は、配置間隔 P_L 、開口径 d_p 、開口径 d_e 、開口径 d_c 、レーザ素子1と凹レンズアレイ3の間隔、凹レンズアレイ3の焦点距離、凹レンズアレイ3とコリメートレンズアレイ4の間隔、コリメートレンズアレイ4の焦点距離、などのパラメータを調整することにより行うことができる。

【0068】

図7は、レーザ素子1の発光面(開口径 d_p)から出射するガウシアン形状の光ビームを示す図である。図中の符号11は、レーザ素子1から出射した光ビームのビームプロファイルを示しており、矢印は光ビームの11の出射方向を示す。

【0069】

レーザ素子1は面発光レーザ素子であるので、集光性が高くかつ高品質の、ほぼガウシアン形状のシングルモードの光ビーム11を発生させることができる。特に、レーザ素子1としてPCSEL素子を用いた場合、光ビーム11の発散角をより小さくすることができ、凹レンズアレイ3の位置でのビーム径を、開口径 d_e よりも十分に小さくすることができる。それゆえ、凹レンズアレイ3の非開口部での回折等の影響をほぼ無視できる。これにより、コリメートレンズアレイ4に入射する光ビーム12のビームプロファイルがガウシアン形状(または略ガウシアン形状)となる。

【0070】

図8は、ファイバ入射端での光ビーム14のビームプロファイルを示す図である。図8Bは、図8Aにおいて破線で囲んだ部分の拡大図である。図8において、ビーム径 w_c が1.6mmのときのビームプロファイルを実線で、0.8mmのときのビームプロファイルを点線で示す。なお、図8を得るために、コリメートレンズアレイ4の開口径 d_c を1mmとしてシミュレーションを行った。

【0071】

図8に示すように、ビーム径 w_c が大きいとき($w_c = 1.6$ mm: 実線)は、ビーム径 w_c が小さいとき($w_c = 0.8$ mm: 点線)と比較して、コリメートレンズアレイ4の非開口部により光ビームが回折等されて全体的に強度が低下する。また、ビーム径 w_c が大きいときには、図8Bに矢印800で示すようにビームプロファイルにサイドローブが発生し、理想的なガウシアン形状から離れてしまう。

【0072】

図9は、本発明の実施の形態1による、ファイバ出射端での光ビーム15の輝度 B_o を増大させる方法を説明するためのグラフである。

グラフの横軸は、コリメートレンズアレイ4に入射する光ビーム12のエネルギーに対す

10

20

30

40

50

る、開口部 4 1 を通過する光ビーム 1 3 の有するエネルギーの割合（エネルギー透過率）を示す。エネルギー透過率が増大することは、コリメートレンズアレイ 4 の開口径 d_c に対してビーム径 w_c が減少することに対応する。グラフの縦軸は、ファイバ入射端での光ビーム 1 4 の輝度 B_i を示す。図 9 に示すグラフを得るために、コリメートレンズアレイ 4 に入射する光ビーム 1 2 のビームプロファイルがガウシアン形状であるとしてシミュレーションを行った。ただし、当該ビームプロファイルがガウシアン形状から若干ずれたとしても、同様のシミュレーション結果を得ることができる。

【 0 0 7 3 】

ここで、一般に、複素振幅分布 $u_1(x_1)$ の光ビームが光線行列 A B C D で示される光学系を通過した後の複素振幅分布 $u_2(x_2)$ は、光ビームの波長を λ_0 、計算領域を a 、光路長を L_0 として下記の式（ 9 ）で表わされる。

【 0 0 7 4 】

【 数 9 】

$$u_2(x_2) = e^{-jkL_0} \sqrt{\frac{j}{B\lambda_0}} \int_{-a}^{+a} u_1(x_1) \exp \left[-j \frac{\pi}{B\lambda_0} (Ax_1^2 - 2x_1x_2 + Dx_2^2) \right] dx_1$$

...（ 9 ）

【 0 0 7 5 】

図 9 のシミュレーションは、式（ 9 ）を二次元化した式を用いて行ったものである。コリメートレンズアレイ 4 上の非開口部による回折等の影響を考慮するために、複素振幅分布 $u_1(x_1)$ を複素ガウス分布として、その端部をカットすることにより計算を行った。

【 0 0 7 6 】

次に、図 1 0 A、図 1 0 B を用いて、前記シミュレーションの結果をさらに説明する。図 1 0 A、図 1 0 B は、コリメートレンズアレイ 4 内の 1 つの開口部 4 1 に入射する光ビームのビームプロファイルと、開口部 4 1 から出射する光ビームのビームプロファイルとを示す。

【 0 0 7 7 】

図 1 0 A では、コリメートレンズアレイ 4 の開口径 d_c よりも大きいビーム径 w_c を有する光ビームがコリメートレンズアレイ 4 に入射する。コリメートレンズアレイ 4 から出射する光ビームのビームプロファイルは、端部が切り取られ、コリメートレンズアレイ 4 に入射する光ビームのビームプロファイル（ほぼガウシアンプロファイル）から異なることになる。図 1 0 A の状況は、図 9 のグラフの横軸の値が 9 4 . 0 % より小さい領域に相当する。このとき、回折広がりによりビームプロファイルにサイドローブが発生して、ファイバ入射端での光ビームのビーム径が大きくなる（例えば、図 8 B の矢印 8 0 0 を参照）。

【 0 0 7 8 】

つまり、図 9 には、エネルギー透過率（グラフの横軸）が 9 4 . 0 % より小さい場合、ビームプロファイルの端部が切り取られることによるエネルギーの低下と回折によるビーム径の広がりとに起因して、ファイバ入射端での光ビームの輝度 B_i が低下することが示されているといえる。

【 0 0 7 9 】

一方、図 1 0 B では、コリメートレンズアレイ 4 の開口径 d_c よりも小さいビーム径 w_c を有する光ビームがコリメートレンズアレイ 4 に入射する。コリメートレンズアレイ 4 から出射する光ビームのビームプロファイルは、端部がほぼ切り取られず、コリメートレンズアレイ 4 に入射する光ビームのビームプロファイルとほぼ同じ形状となる。図 1 0 B の状況は、図 9 のグラフの横軸の値が 9 9 . 5 % より大きい領域に相当する。このとき、後段の集光レンズ 5 にビーム径の小さい光ビームが入射することになり、結果として、ファイバ入射端でのビーム径（集光スポット径）が大きくなる。

【 0 0 8 0 】

10

20

30

40

50

つまり、図 9 には、エネルギー透過率（グラフの横軸）が 99.5% より大きい場合、光ビームのエネルギーの低下は抑制できるものの、ファイバ入射端でビーム径を十分に小さくすることができず、これによりファイバ入射端での光ビーム 14 の輝度 B_i が低下することが示されているといえる。

【0081】

以上より、エネルギー透過率が 94.0% 以上 99.5% 以下のときに、大きい輝度 B_i が得られることがわかる。図 9 から、エネルギー透過率が 94.0% 以上 99.5% 以下のときには、エネルギー透過率が約 97% のときに達成される最大輝度 B_i の約 0.8 倍以上の輝度が達成されることがわかる。

【0082】

なお、製造後のレーザモジュール 10 についてエネルギー透過率が 94.0% 以上 99.5% 以下であるか否かは、コリメートレンズアレイ 4 の直前の位置で測定したエネルギーの大きさを 100% として、コリメートレンズアレイ 4 の直後の位置で測定したエネルギーの大きさを測定することにより判定できる。なお、光ビームのエネルギーの大きさは、例えば光電変換を利用するレーザパワーメータを用いて測定可能である。

【0083】

上記の通り、図 9 の横軸に示される割合（エネルギー透過率）が大きくなることは、コリメートレンズアレイ 4 の位置でのビーム径 w_c が小さくなることに相当する。エネルギー透過率が 99.5% を超えることは、ビーム径 w_c が、式（5）で表される（ファイバ入射端での）輝度 B_i の単調増加範囲に入り、すなわち式（8）で表される輝度 B_i がこの範囲で小さくなることを意味する。

【0084】

一方、図 9 の横軸に示される割合（エネルギー透過率）が小さくなることは、コリメートレンズアレイ 4 の位置でのビーム径 w_c が大きくなることに相当する。エネルギー透過率が例えば 94% を下回るとは、コリメートレンズアレイ 4 上の非開口部による回折等の影響によりファイバ入射端でのビーム径 w_f が大きくなって、式（8）で表される輝度 B_i が小さくなることを意味する。

【0085】

輝度 B_i 、 B_o を増大させる観点から、エネルギー透過率は大きいほど好ましい。しかし、コリメートレンズアレイ 4 上の非開口部で発生する回折等により損失が生じるため、実際にはエネルギー透過率を 100% とすることはできない。実施形態 1 では、開口部 41 を通過した光ビーム 13 のエネルギーを 100% として、その約 98% が光ファイバ 6 に入射するようにしている。コリメートレンズアレイ 4 に入射する光ビーム 12 のエネルギーを 100% として 94.0% のエネルギーの光ビームが開口部 41 を通過したときであれば、当該光ビーム 12 の約 92% 以上のエネルギーを光ファイバ 6 に入射させて利用できる。

【0086】

以上、実施形態 1 によれば、コリメートレンズアレイ 4 に入射する光ビーム 12 のエネルギーを 100% として 94.0% 以上 99.5% 以下のエネルギーの光ビームが開口部 41 を通過するので、ファイバ出射端での光ビーム 15 の輝度 B_o を増大させることができ、ひいては材料加工に適したレーザモジュール 10 を得ることができる。

【0087】

実施の形態 2 .

図 11 は、本発明の実施の形態 2 による、ファイバ出射端での光ビーム 15 の輝度 B_o を増大させる方法を説明するためのグラフである。グラフの横軸は、コリメートレンズアレイ 4 の開口径 d_c に対するコリメートレンズアレイ 4 の位置でのビーム径（ガウシアンビーム半径） w_c の比 w_c / d_c を示す。グラフの縦軸は、ファイバ入射端での光ビーム 14 の輝度 B_i を示す。

【0088】

実施形態 1 では、コリメートレンズアレイ 4 に入射する光ビーム 12 のエネルギーに対する、開口部 41 を通過する光ビームの有するエネルギーの割合（エネルギー透過率）を、光学

10

20

30

40

50

シミュレーションにより最適化した。実施形態 2 では、同じ光学シミュレーションを実施して上記比 w_c / d_c を最適化することにより、ファイバ入射端での輝度 B_i を増大させ、従ってファイバ出射端での輝度 B_o を増大させることを意図している。なお、実施形態 2 は、最適化する対象のみが実施形態 1 と異なるのであって、基本構成は実施形態 1 と同様である。

【0089】

図 12 A、図 12 B を用いて、実施形態 2 によるシミュレーションの結果を説明する。図 12 A、図 12 B は、それぞれ図 10 A、図 10 B に対応し、コリメートレンズアレイ 4 内の 1 つの開口部 41 に入射する光ビーム 12 のビームプロファイルと、開口部 41 から出射する光ビーム 13 のビームプロファイルとを示す。

10

【0090】

図 12 A では、コリメートレンズアレイ 4 の開口径 d_c と同じ大きさのビーム径（ガウシアンビーム半径）を有する光ビームがコリメートレンズアレイ 4 に入射する。コリメートレンズアレイ 4 から出射する光ビームのビームプロファイルは、端部が切り取られ、コリメートレンズアレイ 4 に入射する光ビームのビームプロファイル（ほぼガウシアンプロファイル）から異なることになる。図 12 A の状況は、図 11 のグラフの横軸の値が 1.0 であることに相当する。このとき、ファイバ入射端での光ビームのビーム径は、回折広がりによりビームプロファイルにサイドローブが発生して、大きくなる（例えば、図 8 B の矢印 800 を参照）。

【0091】

20

つまり、図 11 には、比 w_c / d_c （グラフの横軸）が大きいと（1.0 に近いと）ビームプロファイルの端部が切り取られることによるエネルギーの低下と回折によるビーム径の広がりとに起因して、ファイバ入射端での光ビーム 14 の輝度 B_i が低下することが示されているといえる。

【0092】

一方、図 12 B では、コリメートレンズアレイ 4 の開口径 d_c よりも小さいビーム径 w_c を有する光ビームがコリメートレンズアレイ 4 に入射する。コリメートレンズアレイ 4 から出射する光ビームのビームプロファイルは、端部がほぼ切り取られず、コリメートレンズアレイ 4 に入射する光ビームのビームプロファイルとほぼ同じ形状となる。図 12 B の状況では、後段の集光レンズ 5 にビーム径の小さい光ビームが入射することになり、結果として、ファイバ入射端でのビーム径（集光スポット径）が大きくなる。

30

【0093】

実施形態 1 では、図 10 A、図 10 B を用いて、大きい輝度 B_i が得られる条件（エネルギー透過率が 94.0 % 以上 99.5 % 以下）を考察した。図 9 から、当該条件下では、最大輝度 B_i の約 0.8 倍以上の輝度が達成されることがわかった。同様に、図 11 から、最大輝度 B_i の約 0.8 倍以上の輝度が達成される比 w_c / d_c の範囲（0.60 以上 0.85 以下）を、本実施形態 2 で大きい輝度 B_i が得られる条件として採用できる。

【0094】

なお、製造後のレーザモジュール 10 について比 w_c / d_c が 0.60 以上 0.85 以下であるか否かは、例えば CCD カメラ型のレーザビームプロファイラを用いてコリメートレンズアレイ 4 の直前の位置でビーム径の大きさを測定することにより判定できる。

40

【0095】

以上、実施形態 2 によれば、実施形態 1 と同様に、ファイバ出射端での光ビーム 15 の輝度 B_o を増大させることができ、ひいては材料加工に適したレーザモジュール 10 を得ることができる。

【0096】

実施の形態 3 .

実施形態 3 では、下記式（10）で表されるレーザ素子 1 から集光レンズ 5 までの光線行列において、要素 C の値が 0 となるように、各種パラメータ（レーザ素子 1 の配置間隔 P_L 、レーザ素子 1 の発光面の開口径 d_p 、凹レンズアレイ 3 の開口径 d_e 、コリメート

50

レンズアレイ 4 の開口径 d_c 、レーザ素子 1 と凹レンズアレイ 3 の間隔、凹レンズアレイ 3 の焦点距離、凹レンズアレイ 3 とコリメートレンズアレイ 4 の間隔、コリメートレンズアレイ 4 の焦点距離等) が調節される。

【0097】

【数 10】

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \dots (10)$$

【0098】

ここで、(面発光)レーザ素子 1 から出射する光ビームは、ほぼ平面波であって基板面に対して垂直に出射する。従って、式(10)で表される光線行列の要素 C の値が 0 であることにより、光ビームはその傾きを変えないで進行することになる。これにより、例えばレーザ素子 1 の位置、レンズアレイ 3, 4 の位置および開口径 d_e , d_c に多少のずれ(公差)が生じたとしても、すべてのレーザ素子 1 から出射した光ビームを集光レンズ 5 に対して垂直に入射させることができる。

【0099】

また、実施形態 3 では、集光レンズ 5 の焦点距離 f と集光レンズ 5 から光ファイバ 6 の入射端までの距離とを等しくする。これにより、各レーザ素子 1 から出射した光ビームは、光ファイバ 6 の入射端の同じ(またはほぼ同じ)位置に集光される。これにより、例えばレーザ素子 1 の位置、レンズアレイ 3, 4 の位置および開口径 d_e , d_c に多少のずれ(公差)が生じたとしても、すべてのレーザ素子 1 から出射した光ビームを集光レンズ 5 の同じ(またはほぼ同じ)位置に入射させることができ、各光学素子 1, 3 ~ 5 のアライメントが容易になる。

【0100】

特に、レーザ素子 1 として PCSEL 素子を用いた場合、高品質な平面波の光ビームが出射し、さらに発光面の開口径 d_p を大きくすることができるため、集光レンズ 5 から焦点距離 f に等しい距離を隔てた位置が集光スポット位置となり、光ファイバ 6 のコア径 d_f を小さくすることができる。

【0101】

実施の形態 4 .

図 13 は、本発明の実施の形態 4 によるレーザ加工装置を示す構成図である。

レーザ加工装置 1000 は、上記実施形態 1 ~ 3 のいずれか、またはこれらの実施形態で説明した特徴の任意の組み合わせを有するレーザモジュール 10 と、光ファイバ 6 から出射した光ビーム 15 を被加工材 W に向けて照射するための加工ヘッド 50 とを備える。

【0102】

加工ヘッド 50 は中空筒状の部材であり、光ビームを平行化、集光して被加工材 W の加工点で光スポットを形成する 2 つの加工レンズ 51, 52 が内部に設けられている。加工ヘッド 50 の先端は、加工レンズ 52 により集光された光ビームを通過させるとともに被加工材 W に向けてアシストガスを供給するように、ノズル状に形成されている。

【0103】

以上、実施形態 4 によれば、ファイバ出射後の光ビーム 15 が従来よりも高輝度化されたレーザモジュール 10 を利用することにより、加工精度の高いレーザ加工装置 1000 を得ることができる。

【0104】

実施の形態 5 .

図 14 は、本発明の実施の形態 5 によるレーザモジュールを示す構成図である。

実施形態 1 ~ 3 では、凹レンズアレイ 3 とコリメートレンズアレイ 4 とでビームエキスパンダを構成した。本実施形態 5 では、図 14 に示すように、凹レンズアレイ 3 の代わりに凸レンズアレイ 23 が設けられ、この凸レンズアレイ 23 とコリメートレンズアレイ 24 とによりビームエキスパンダが構成される。凸レンズアレイ 23 とコリメートレンズア

10

20

30

40

50

レイ 2 4 は、両レンズアレイ 2 3 , 2 4 の間に集光点が形成されるように配置される。

【 0 1 0 5 】

凸レンズアレイ 2 3 は、図 1 に示される凹レンズアレイ 3 の開口部 3 1 に対応する開口部 2 3 1 を有する。コリメートレンズアレイ 2 4 は、図 1 に示されるコリメートレンズアレイ 4 の開口部 4 1 に対応する開口部 2 4 1 を有する。

【 0 1 0 6 】

なお、本実施形態 5 で、ビームエキスパンダ以外の構成は実施形態 1 ~ 3 と同一である。それらの構成について、本実施形態 5 の説明と図 1 4 では、実施形態 1 ~ 3 で用いた符号と同一の符号を用いている。

【 0 1 0 7 】

本実施形態 5 によれば、実施形態 1 ~ 3 とは異なるビームエキスパンダの構成により、実施形態 1 ~ 3 で得られる効果と同様の効果が得られる。

【 0 1 0 8 】

実施の形態 6 .

図 1 5 は、本発明の実施の形態 6 によるレーザモジュールを示す構成図である。

実施形態 5 では、凸レンズアレイ 2 3 とコリメートレンズアレイ 2 4 という 2 組のレンズアレイによりビームエキスパンダを構成した。本実施形態 6 では、図 1 5 に示すように、凸レンズアレイ 3 3 とコリメートレンズアレイ 3 4 との間にさらに凸レンズアレイ 3 5 が設けられ、これら 3 組のレンズアレイによりビームエキスパンダが構成される。凸レンズアレイ 3 3 , 3 5 は、両レンズアレイ 3 3 , 3 5 の間に集光点が形成されるように配置される。凸レンズアレイ 3 5 とコリメートレンズアレイ 3 4 は、両レンズアレイ 3 4 , 3 5 の間に集光点が形成されるように配置される。

【 0 1 0 9 】

凸レンズアレイ 3 3 は、図 1 に示される凹レンズアレイ 3 の開口部 3 1 に対応する開口部 3 3 1 を有する。コリメートレンズアレイ 3 4 は、図 1 に示されるコリメートレンズアレイ 4 の開口部 4 1 に対応する開口部 3 4 1 を有する。

【 0 1 1 0 】

なお、本実施形態 6 で、ビームエキスパンダ以外の構成は実施形態 1 ~ 3、5 と同一である。それらの構成について、本実施形態 6 の説明と図 1 5 では、実施形態 1 ~ 3、5 で用いた符号と同一の符号を用いている。

【 0 1 1 1 】

本実施形態 6 によれば、実施形態 1 ~ 3、5 とは異なるビームエキスパンダの構成により、実施形態 1 ~ 3、5 で得られる効果と同様の効果が得られる。

【 0 1 1 2 】

ここで、実施形態 3 では、式 (1 0) で表されるレーザ素子 1 から集光レンズ 5 までの光線行列において、要素 C の値が 0 となるように、各種パラメータ (レーザ素子 1 の配置間隔 P_L 、レーザ素子 1 の発光面の開口径 d_p 、凹レンズアレイ 3 の開口径 d_e 、コリメートレンズアレイ 4 の開口径 d_c 、レーザ素子 1 と凹レンズアレイ 3 の間隔、凹レンズアレイ 3 の焦点距離、凹レンズアレイ 3 とコリメートレンズアレイ 4 の間隔、コリメートレンズアレイ 4 の焦点距離等) を調節した。本実施形態 6 では、これに代えて、またはこれに加えて、要素 B の値が 0 となるように、各種パラメータが調節されてもよい。

【 0 1 1 3 】

前記要素 B の値が 0 になることにより、レーザ素子 1 から放出される光ビームの発散角が設計からずれた値となった場合でも、前記 3 組のアレイレンズの間隔だけを調整することにより、集光レンズ 5 の位置で所望のビーム径と所望のビーム発散角を容易に得ることができる。

【 0 1 1 4 】

以上、実施形態を挙げて本発明を説明したが、本発明は実施形態に限定されない。また、各実施形態の特徴を任意に組み合わせて別の実施形態が構成されてよい。また、実施形態には種々の変形、改良が加えられてよく、従って本発明には種々の変形例が存在する。

10

20

30

40

50

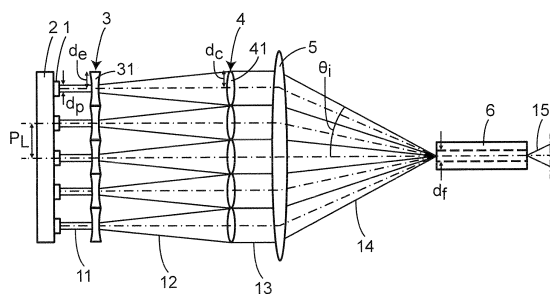
【符号の説明】

【 0 1 1 5 】

1 レーザ素子、 2 ベース、 3 凹レンズアレイ、 4 コリメートレンズアレイ、 5 集光レンズ、 6 光ファイバ、 10 レーザモジュール、 50 加工ヘッド、 1000 レーザ加工装置、 P_L レーザ素子の配置間隔、 d_p レーザ素子の発光面の開口径、 d_e 凹レンズアレイの開口径、 d_c コリメートレンズアレイの開口径、 θ_i 光ビームの集光角、 d_f 光ファイバのコア径

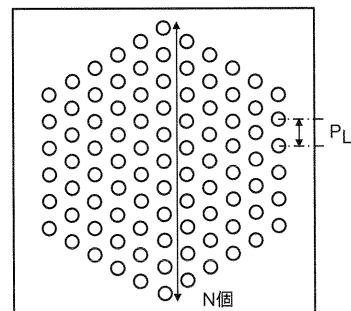
【図 1】

Fig.1



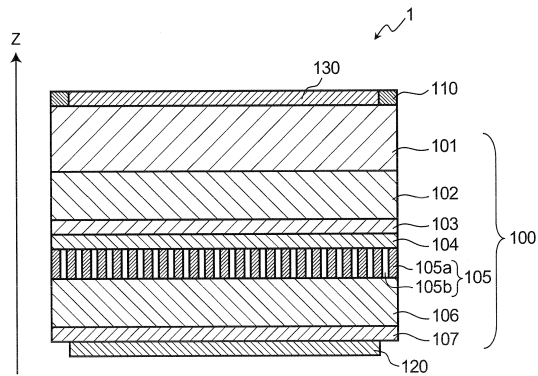
【図 2】

Fig.2



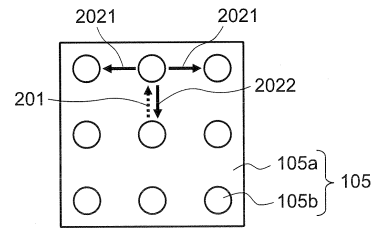
【図 3】

Fig.3



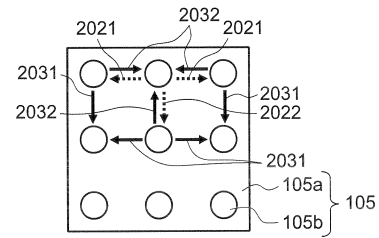
【図 4 B】

Fig.4B



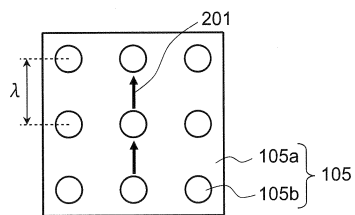
【図 4 C】

Fig.4C



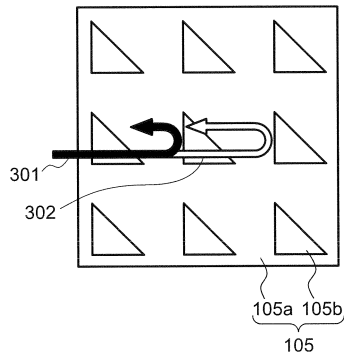
【図 4 A】

Fig.4A



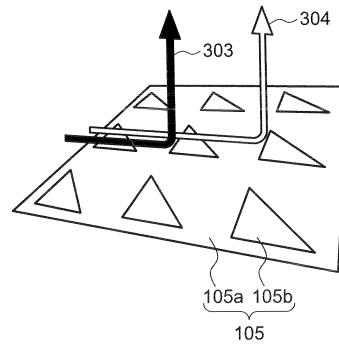
【図 5 A】

Fig.5A



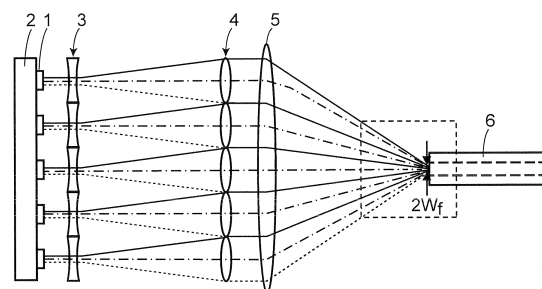
【図 5 B】

Fig.5B



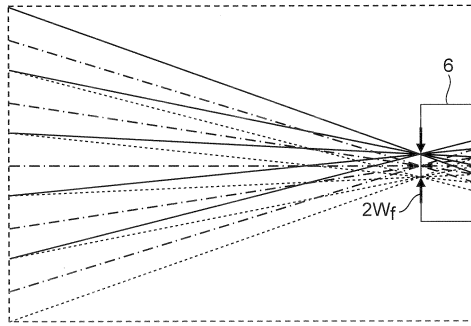
【図 6 A】

Fig.6A



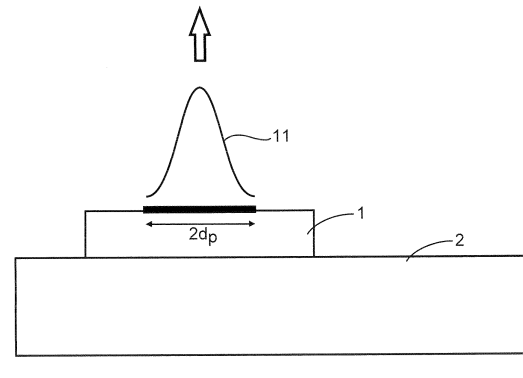
【図 6 B】

Fig.6B



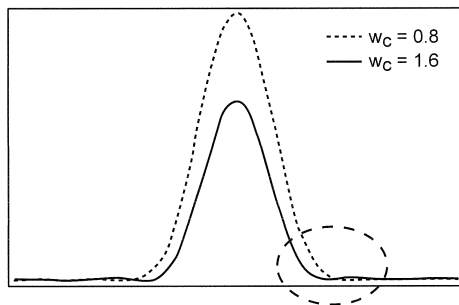
【図 7】

Fig.7



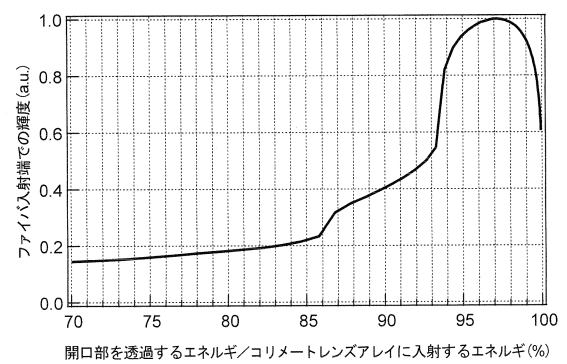
【図 8 A】

Fig.8A



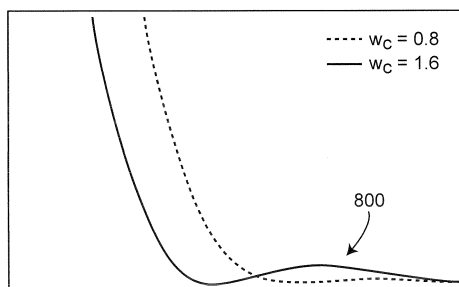
【図 9】

Fig.9



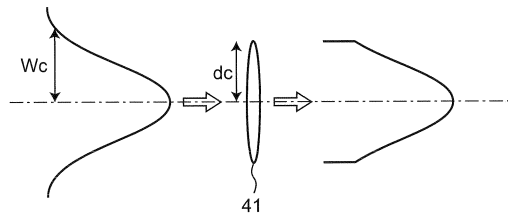
【図 8 B】

Fig.8B



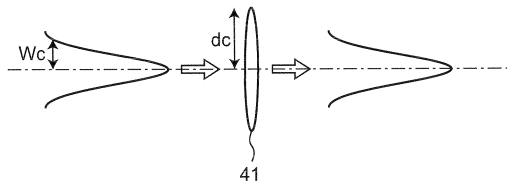
【図10A】

Fig.10A



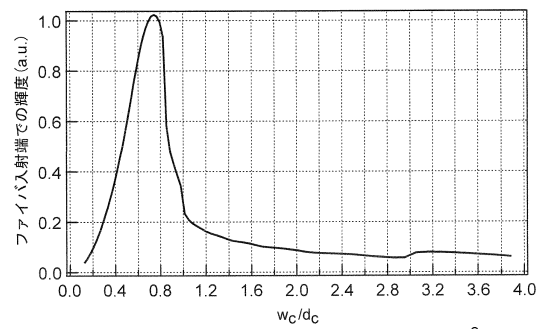
【図10B】

Fig.10B



【図11】

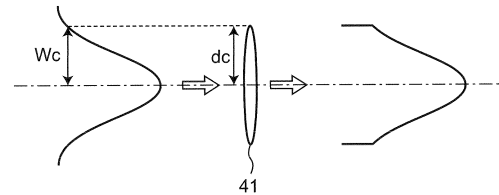
Fig.11



(コリメートレンズアレイ開口径に対するコリメートレンズアレイ上 $1/e^2$ ビーム径)

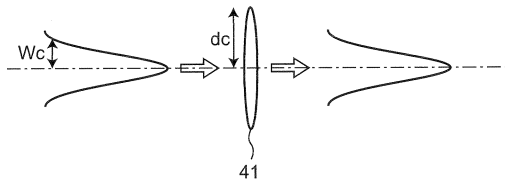
【図12A】

Fig.12A



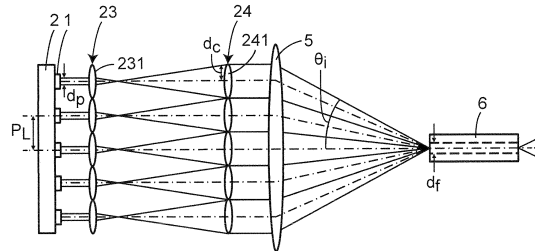
【図12B】

Fig.12B



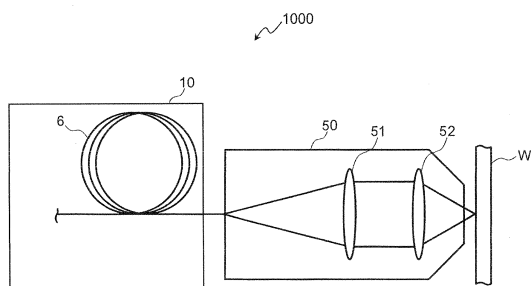
【図14】

Fig.14



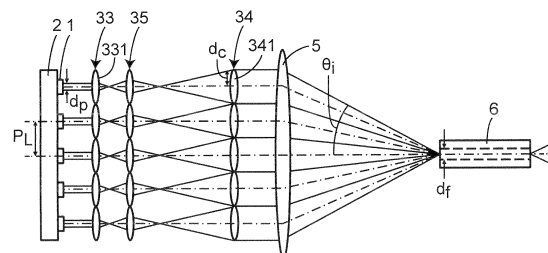
【図13】

Fig.13



【図15】

Fig.15



フロントページの続き

- (74)代理人 100081422
弁理士 田中 光雄
- (74)代理人 100112911
弁理士 中野 晴夫
- (72)発明者 山本 達也
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 久場 一樹
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 河▲崎▼ 正人
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 井上 陽子
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 小島 哲夫
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 西前 順一
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 野田 進
京都府京都市左京区吉田本町3番地1 国立大学法人京都大学内

審査官 吉野 三寛

- (56)参考文献 特開2002-202442(JP,A)
特表2013-502717(JP,A)
特開2007-258262(JP,A)
特開平5-224099(JP,A)
特開2014-175626(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S 5/00-5/50