

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6073636号  
(P6073636)

(45) 発行日 平成29年2月1日(2017.2.1)

(24) 登録日 平成29年1月13日(2017.1.13)

(51) Int.Cl. F I  
**GO2B 6/42 (2006.01)** GO2B 6/42  
**HO1S 5/022 (2006.01)** HO1S 5/022

請求項の数 10 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2012-229553 (P2012-229553)	(73) 特許権者	000005186
(22) 出願日	平成24年10月17日(2012.10.17)		株式会社フジクラ
(65) 公開番号	特開2014-81503 (P2014-81503A)		東京都江東区木場1丁目5番1号
(43) 公開日	平成26年5月8日(2014.5.8)	(74) 代理人	100143764
審査請求日	平成27年5月22日(2015.5.22)		弁理士 森村 靖男
		(74) 代理人	100129296
			弁理士 青木 博昭
		(72) 発明者	阪本 真一
			千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社 フジクラ 佐倉事業所内
		審査官	里村 利光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザモジュール

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のレーザ素子と、  
 前記複数のレーザ素子から出射する光が入射するコアを有する光ファイバと、  
 を備え、  
 前記コアの光の入射面は、少なくとも1つのレーザ素子から出射する光が入射する互いに非平行な複数の平面を有して凸状に形成され、  
 前記複数の平面のうち前記光ファイバの軸線に対して傾斜する傾斜面から前記コアに入射する光は、前記光ファイバの長手方向に沿った断面で見ると、前記傾斜面に入射する前記光の入射点を通り前記軸線に平行な線と前記傾斜面とが鋭角を成して囲む領域から伝播することを特徴とするレーザモジュール。

【請求項2】

前記光ファイバの長手方向に沿った断面で見ると、前記傾斜面と前記軸線とがなす鋭角の大きさを  $\theta_{taper}$  とし、前記鋭角の同位角であって、前記コアに入射する光の光軸と前記軸線とがなす角の大きさを  $\theta_{light}$  とし、前記傾斜面から前記コアに入射する光の前記光軸に対する広がり角を  $\theta_{angle}$  とする場合、

【数1】

$$\theta_{light} + \theta_{angle} < \theta_{taper}$$

10

20

を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載のレーザモジュール。

【請求項 3】

前記光ファイバの長手方向に沿った断面で見える場合において、前記軸線に垂直な面から前記コアに光を入射するとき前記コアから光が漏えいしない光の最大の入射角度を  $\theta_{NA}$  とする場合、

【数 2】

$$\theta_{NA} < \theta_{taper}$$

を満たすことを特徴とする請求項 2 に記載のレーザモジュール。

【請求項 4】

前記光ファイバの前記コアの屈折率を  $n_{core}$  とし、前記光ファイバのクラッドの屈折率を  $n_{clad}$  とする場合、

【数 3】

$$\frac{n_{core}}{n_{clad}} \times \sin \left( \sin^{-1} \left( \frac{\sin \left( \frac{\pi}{2} - \theta_{taper} + \theta_{light} + \theta_{angle} \right)}{n_{core}} \right) + \theta_{taper} \right) \geq 1$$

$$\frac{n_{core}}{n_{clad}} \times \sin \left( \sin^{-1} \left( \frac{\sin \left( \frac{\pi}{2} - \theta_{taper} + \theta_{light} - \theta_{angle} \right)}{n_{core}} \right) + \theta_{taper} \right) \geq 1$$

を全て満たすことを特徴とする請求項 2 または 3 に記載のレーザモジュール。

【請求項 5】

それぞれの前記平面から前記コアに入射した光のそれぞれの光軸は、前記軸線と平行とされることを特徴とする請求項 4 に記載のレーザモジュール。

【請求項 6】

それぞれの前記平面から前記コアに入射するそれぞれの光は、少なくとも 2 つの前記レーザ素子から出射するそれぞれの光が集光レンズによりそれぞれの前記平面上に集光されることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載のレーザモジュール。

【請求項 7】

前記集光レンズで集光される前のそれぞれの光はコリメート光とされ、

それぞれの前記コリメート光は、互いに平行とされることを特徴とする請求項 6 に記載のレーザモジュール。

【請求項 8】

前記複数の平面の内、1 つの平面は、前記軸線に対して垂直な垂直面であることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載のレーザモジュール。

【請求項 9】

前記複数の平面の内、少なくとも 2 つの平面がそれぞれ前記傾斜面であり、一つの傾斜面は他の一つの傾斜面を前記軸線を基準に回転させた面に一致することを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載のレーザモジュール。

【請求項 10】

前記平面は長手方向と短手方向とを有する形状の平面であり、前記レーザ素子から出射する光は遅軸方向が前記平面の前記長手方向に一致して前記平面から前記コアに入射することを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載のレーザモジュール。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、光を効率良く出射することができるレーザモジュールに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

ファイバレーザ装置は、集光性に優れ、パワー密度が高い小さなビームスポットが得られ、更に、非接触加工が可能であることから、レーザ加工分野、医療分野等、様々な分野において用いられている。特に加工分野や医療分野において用いられるファイバレーザ装置においては、高出力化がなされている。

## 【0003】

このようなファイバレーザ装置の高出力化に伴い、ファイバレーザ装置に用いる励起光源からもパワーの大きな光が出射されることが望まれている。一般的に励起光源は、半導体レーザ素子から出射する光が光ファイバに入射し、この光ファイバから光が出射する構成とされる。そして、励起光源からパワーの大きな光を出射するため、複数の半導体レーザ素子から出射する光を集光して、光ファイバに入射することが行われている。

## 【0004】

下記特許文献1には、このような励起光源に用いることができるレーザモジュールが記載されている。特許文献1に記載のレーザモジュールでは、複数の半導体レーザ素子のそれぞれから出射するレーザ光が、互いに平行な光とされ、その後、一つの集光レンズにより光ファイバの端面に集光されて、光ファイバに入射されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【特許文献1】特開2011-243717号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

特許文献1に記載のレーザモジュールにおいて、半導体レーザ素子の数を増やして、上記のように光ファイバに入射することにより、より強度の大きな光を光ファイバから出射させることが考えられる。しかしこの場合、半導体レーザ素子が数多く並べられるため、端の方に並べられた半導体レーザ素子から出射する光の入射角が大きくなり過ぎて、光ファイバのコアの開口数(NA: numerical aperture)を超えてしまう場合がある。従って、このレーザモジュールにおいては、多数の半導体レーザ素子から出射する光の内、一部の光が漏れいすることで光ファイバを伝播することができないという問題があった。

## 【0007】

そこで、本発明は、複数の半導体レーザ素子から出射する光を効率よく出射することができるレーザモジュールを提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

本発明者は、上記課題を解決するため光ファイバの入射する光がコアの開口数を超えないようにするため鋭意検討を行った。この結果、通常の光ファイバは、コアの光の入射面が光ファイバの軸線に対して垂直であるため、光ファイバの軸線に対する光の入射角度が限定されてしまうことに注目し、本発明をするに至った。

## 【0009】

すなわち、本発明のレーザモジュールは、複数のレーザ素子と、前記複数のレーザ素子から出射する光が入射するコアを有する光ファイバと、を備え、前記コアの光の入射面は、少なくとも一つのレーザ素子から出射する光が入射する互いに非平行な複数の平面を有し、前記複数の平面のうち前記光ファイバの軸線に対して傾斜する傾斜面から前記コアに入射する光は、前記光ファイバの長手方向に沿った断面で見ると、前記傾斜面に入射する前記光の入射点を通り前記軸線に平行な線と前記傾斜面とが鋭角を成して囲む領域か

10

20

30

40

50

ら伝播することを特徴とするものである。

【0010】

入射面は互いに非平行な複数の平面を有するため、入射面の少なくとも1つの平面は、光ファイバの軸線に対して傾斜する傾斜面とされる。この傾斜面に入射する光が上記の領域から入射することにより、同じ方向から当該軸線に対して垂直な平面に到達してコアに入射する光よりも、入射後の進行方向が光ファイバの軸線により近づいた状態で伝播する。従って、光ファイバの軸線に対して垂直な面からコアに入射する場合にコアの開口数を超えてしまう光であっても、上記のように傾斜面からコアに入射することにより、コアの開口数を超えることが抑制できる。このため複数の半導体レーザ素子から出射する光が光ファイバから漏えいすることを抑制でき、光を効率よく出射することができる。

10

【0011】

なお、コアの入射面が傾斜面を複数有する場合、それぞれの傾斜面からコアに入射するそれぞれの光が、クラッドに漏えいすることが抑制される。このようにクラッドに漏えいすることが抑制される光が複数集まることにより、光ファイバの軸線に垂直な入射面にのみ光を入射する場合よりも、コアに入射する光全体として強度のより大きな光を伝播させることができる。

【0012】

また、コアの入射面が、傾斜面を1つのみ有する場合においては、複数の平面の内、他の平面が光ファイバに垂直な垂直面とされる。この垂直面からは、従来のレーザモジュールにおける光ファイバに入射する光と同様にして、コアに光を入射することができる。一方、傾斜面から入射する光は、上記のようにクラッドに漏えいすることが抑制される。従って、光ファイバの軸線に垂直な入射面にのみ光を入射する場合よりも、コアに入射する光全体としてより強度の大きな光を伝播することができる。

20

【0013】

また、前記光ファイバの長手方向に沿った断面で見える場合において、前記傾斜面と前記軸線とがなす鋭角の大きさを  $\theta_{taper}$  とし、前記鋭角の同位角であって、前記光軸と前記軸線とがなす角の大きさを  $\theta_{light}$  とし、前記傾斜面から前記コアに入射する光の前記光軸に対する広がり角を  $\theta_{angle}$  とする場合、

【数1】

$$\theta_{light} + \theta_{angle} < \theta_{taper}$$

30

を満たすことが好ましい。

【0014】

光の光軸とファイバの軸線とがなす角の大きさ  $\theta_{light}$  と、光の光軸に対する広がり角を  $\theta_{angle}$  とを加えた大きさが、傾斜面と光ファイバの軸線とがなす角の大きさ  $\theta_{taper}$  よりも小さくされることで、傾斜面からコアに入射する光の内、少なくとも光軸上の光部分及び光軸よりも傾斜面側の光部分が、他の平面に遮られることなく傾斜面に到達してコアに入射する。従って、より効率良く光を光ファイバに入射することができる。

【0015】

また、前記光ファイバの長手方向に沿った断面で見える場合において、前記軸線に垂直な面から前記コアに光を入射するときに前記コアから光が漏えいしない光の最大の入射角度を  $\theta_{NA}$  とする場合、

40

【数2】

$$\theta_{NA} < \theta_{taper}$$

を満たすことが好ましい。

【0016】

傾斜面と光ファイバの軸線とがなす角の大きさ  $\theta_{taper}$  が、光ファイバの軸線に垂直な面からコアに光が入射するときに光がコアから漏えいしない光の最大の入射角である  $\theta_{NA}$  よりも大きくされることにより、光ファイバの軸線に対して垂直な入射面からコアに入射

50

する場合にコアの開口数を超過してしまう光を傾斜面まで確実に伝播することができる。

【0017】

さらに、前記光ファイバの前記コアの屈折率を  $n_{core}$  とし、前記光ファイバのクラッドの屈折率を  $n_{clad}$  とする場合、

【数3】

$$\frac{n_{core}}{n_{clad}} \times \sin \left( \sin^{-1} \left( \frac{\sin \left( \frac{\pi}{2} - \theta_{taper} + \theta_{light} + \theta_{angle} \right)}{n_{core}} \right) + \theta_{taper} \right) \geq 1$$

10

$$\frac{n_{core}}{n_{clad}} \times \sin \left( \sin^{-1} \left( \frac{\sin \left( \frac{\pi}{2} - \theta_{taper} + \theta_{light} - \theta_{angle} \right)}{n_{core}} \right) + \theta_{taper} \right) \geq 1$$

を全て満たすことが好ましい。

【0018】

このような条件を満たすことにより、光ファイバが曲げられる等の条件とされない限り、入射後の光がクラッドに漏れいすることをより抑制することができる。

20

【0019】

更に、それぞれの前記平面から前記コアに入射した光のそれぞれの光軸は、前記軸線と平行とされることが好ましい。

【0020】

コアに入射後の光軸が光ファイバの軸線と平行にされることにより、入射後の光がクラッドに漏れいすることをより抑制することができる。従って、例えば、光ファイバが曲がっている領域においても、光がクラッドに漏れいすることをより抑制することができる。

【0021】

また、それぞれの前記平面から前記コアに入射するそれぞれの光は、少なくとも2つの前記レーザ素子から出射するそれぞれの光が集光レンズによりそれぞれの前記平面上に集光されることが好ましい。

30

【0022】

それぞれの平面に、複数のレーザ素子から出射する光を集光することにより、それぞれの平面から強度のより大きい光をコアに入射することができる。従って、強度のより大きい光を出射することができる。

【0023】

また、この場合においては、前記集光レンズで集光される前のそれぞれの光はコリメート光とされ、それぞれの前記コリメート光は、互いに平行とされることが好ましい。

【0024】

集光レンズにより集光する光が互いに平行な複数のコリメート光であることより、焦点をより小さくすることができる。従って、入射面を構成するそれぞれの平面が小さい場合であっても、より多くのレーザ素子から出射された光をコアに入射させることができる。従って、強度のより大きな光を光ファイバに入射させることができる。

40

【0025】

また、前記複数の平面の内、1つの平面は、前記軸線に対して垂直な垂直面であることが好ましい。

【0026】

入射面が軸線に対して垂直な垂直面を有することにより、光ファイバの軸線方向からも光をコアに入射させることができる。なお、軸線に対して垂直な平面には、このように光

50

ファイバの軸線方向から光を入射させる他に、従来のレーザモジュールと同様にして、コアの開口数を超えない範囲で、軸線に対して傾斜した方向から光を入射させることもできる。従って、従来のレーザモジュールと同様にしてレーザ素子から出射する光を光ファイバに入射できることに加えて、上記のように傾斜面に光を入射することができるので、より多くの光を光ファイバに入射することができる。

【0027】

また、前記複数の平面の内、少なくとも2つの平面がそれぞれ前記傾斜面であり、一つの傾斜面は他の一つの傾斜面を前記軸線を基準に回転させた面に一致することが好ましい。

【0028】

このように一对の平面が軸線を基準として互いに回転した関係であることにより、一方の傾斜面からコアに入射する光を出射するレーザ素子を含む光学系と、他方の傾斜面からコアに入射する光を出射するレーザ素子を含む光学系とを光ファイバの軸線に対して回転させて配置することができる。従って、それぞれの光学系を配置する空間を効率的に利用でき、より多くのレーザ素子を配置することができる。

【0029】

また、前記平面は長手方向と短手方向とを有する形状の平面であり、前記レーザ素子から出射する光は遅軸方向が前記平面の前記長手方向に一致して前記平面に入射することが好ましい。

【0030】

レーザ素子から出射する光の光軸に垂直な断面での形状は、遅軸方向が長く、速軸方向が短い。従って、平面の長手方向と光の遅軸方向とを合わせることで、より効率的に光を入射させることができる。特に、それぞれの平面に少なくとも2つのレーザ素子から出射するそれぞれの光が集光レンズにより集光される場合においては、集光されるそれぞれの光の遅軸方向と平面の長手方向とが合わされることにより、光をより効率的に集光して入射させることができる。

【発明の効果】

【0031】

以上のように、本発明によれば、複数の半導体レーザ素子から出射する光を効率よく出射することができるレーザモジュールが提供される。

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図1】本発明の第1実施形態に係るレーザモジュールを示す概念図である。

【図2】図1の光ファイバの一方の端部の様子を示す図である。

【図3】光ファイバに光が入射する様子を示す図である。

【図4】特定の集光レンズから出射した光がコアに入射する様子を示す図である。

【図5】本発明の第2実施形態に係るレーザモジュールを示す概念図である。

【図6】図5の光ファイバの一方の端部の様子を示す図である。

【図7】本発明の第3実施形態に係るレーザモジュールを示す概念図である。

【図8】図7の光ファイバの一方の端部の様子を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0033】

以下、本発明に係るレーザモジュールの好適な実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【0034】

(第1実施形態)

図1は、本発明の第1実施形態に係るレーザモジュールを示す概念図である。図1に示すように、本実施形態のレーザモジュール1は、複数の光学部20a, 20b, 20cと、それぞれの光学部20a, 20b, 20cから出射する光が入射する光ファイバ10と、を主な構成として備える。なお、図1は、上述のようにレーザモジュール1の概念図で

10

20

30

40

50



の一方の端部において、中心よりも光学部 20c の集光レンズ 30 側に集光する点において光学部 20a と異なる。また、光学部 20c は、集光レンズ 30 から出射したそれぞれの光 Lc が、光ファイバ 10 の一方の端部において、中心よりも光学部 20b の集光レンズ 30 側に集光する点において光学部 20a と異なる。光学部 20b 及び光学部 20c のそれぞれの集光レンズ 30 は、上記のように光が集光するように、僅かに位置がずれた状態で配置されている。

【0043】

図 2 は、図 1 の光ファイバ 10 の一方の端部の様子を示す図である。光ファイバ 10 は、図 2 に示すように、コア 15 と、コア 15 の外周面を隙間なく囲むクラッド 16 とを有し、例えばマルチモードファイバとされる。コア 15 は、クラッド 16 よりも高い屈折率を有し、直径が例えば  $105 \mu\text{m}$  とされる。クラッド 16 は、コア 15 の外周面を隙間なく囲み、外形が例えば  $125 \mu\text{m}$  とされる。

10

【0044】

また、光ファイバ 10 は、コア 15 の一方の端部に光の入射面が形成され、この入射面が互いに非平行な複数の平面から構成されている。本実施形態においては、コア 15 の入射面が 3 つの平面 15a, 15b, 15c から構成される例を示している。

【0045】

中心の平面 15a は、点線で示す長手方向 a1 及び点線で示す短手方向 as を有する長細い形状の面であり、光ファイバ 10 の軸線 CA に対して垂直な垂直面とされる。この平面 15a の中心は、軸線 CA と平面 15a との交点と一致する。また、平面 15b は、点線で示す長手方向 b1 及び点線で示す短手方向 bs を有する長細い形状をしており、軸線 CA に対して傾斜する傾斜面とされている。同様に平面 15c は、長手方向及び短手方向を有する長細い形状をしており、軸線 CA に対して傾斜する傾斜面とされている。そして、二つの傾斜面である平面 15b, 15c のうち、一つの平面 15b は、他の一つの平面 15c を軸線 CA を基準に回転させた面に一致している。すなわち平面 15b, 15c は、軸線 CA に対して互い逆側に同じ角度傾斜している。また、平面 15b, 15c は、それぞれ平面 15a と隣り合い、平面 15a を挟む位置に形成されており、軸線 CA から互いに逆側に同じ距離だけ離れている。平面 15b, 15c が軸線 CA に対して傾斜する角度は、特に限定されないが、例えば  $85^\circ$  とされる。この場合、平面 15a に対して、 $5^\circ$  傾斜することになる。

20

30

【0046】

このように光の入射面が平面 15a ~ 15c から成る光ファイバ 10 は、図 1 に示すように、光学部 20a の集光レンズ 30 に平面 15a が対向し、光学部 20b の集光レンズ 30 側に平面 15c が位置し、光学部 20c の集光レンズ 30 側に平面 15b が位置して、さらに、光学部 20b からの光が平面 15b 上に集光し、光学部 20c からの光が平面 15c 上に集光するように配置される。

【0047】

次に、レーザモジュール 1 の光学的な動作について説明する。

【0048】

図 1 において破線で示すように、それぞれの光学部 20a ~ 20c のそれぞれのレーザ素子 21 から光が出射する。このとき、それぞれの光学部 20a ~ 20c において、それぞれのレーザ素子 21 から出射する光は、光軸が互いに平行とされる。また、それぞれの光の波長は、例えば上述のように  $900 \text{nm}$  帯とされる。それぞれのレーザ素子 21 から出射した光は、速軸方向及び遅軸方向に広がりながら伝播し、それぞれのシリンドリカルレンズ 22 に入射する。そして、それぞれのシリンドリカルレンズ 22 からは、速軸方向がコリメートされた光が出射する。次にシリンドリカルレンズ 22 から出射したそれぞれの光は、速軸方向には広がらず遅軸方向に広がりながら伝播し、それぞれのシリンドリカルレンズ 23 に入射する。そして、それぞれのシリンドリカルレンズ 23 からは、遅軸方向がコリメートされた光が出射する。こうして、それぞれのシリンドリカルレンズ 23 からは、速軸方向及び遅軸方向の双方がコリメートされた光が出射し、光学部 20a ~ 光学

40

50

部 20c のそれぞれにおいて、シリンドリカルレンズ 23 から出射したそれぞれの光は、互いに平行な光とされる。なお、図 1 において、この速軸方向及び遅軸方向の双方がコリメートされた光が示されており、速軸方向が F で示され、遅軸方向が S で示されている。次にシリンドリカルレンズ 23 から出射したそれぞれの光は、集光レンズ 30 に入射する。そして、それぞれの集光レンズ 30 から光 L a , L b , L c が出射し、これら光 L a , L b , L c は、光ファイバ 10 のコア 15 の入射面に向かって集光しながら伝播する。

【 0049 】

図 3 は、光ファイバ 10 に光が入射する様子を示す図である。図 3 において、光ファイバ 10 は、図 2 の光ファイバ 10 の軸線 C A を通り、平面 15 a ~ 15 c の長手方向に垂直な V - V 線における断面により示されている。なお、理解の容易のため、軸線 C A は、径方向に僅かにずらされて記載されている。

10

【 0050 】

光学部 20a の集光レンズ 30 から出射した光 L a は、上述のように光ファイバ 10 の一方の端部の略中心に集光するため、平面 15 a 上の略中心において集光する。このとき光 L a は、遅軸方向 S が、平面 15 a の長手方向 a l に一致して、速軸方向 F が平面 15 a の短手方向 a s に一致した状態で集光する。また、上述のように、光ファイバ 10 が光学部 20a の集光レンズ 30 に平面 15 a が対向するように配置されているので、光 L a は、光軸 C L a が軸線 C A に沿って、平面 15 a からコア 15 に入射する。コア 15 に入射した光 L a は、コア 15 の屈折率に基づいて屈折し、コア 15 内を伝播する。

【 0051 】

20

また、光学部 20b の集光レンズ 30 から出射した光 L b は、平面 15 b 上に集光して平面 15 b からコア 15 に入射する。このとき光 L b は、遅軸方向 S が、平面 15 b の長手方向 b l に一致して、速軸方向 F が平面 15 b の短手方向 b s に一致した状態で集光し、コア 15 に入射する。また、上述のように光ファイバ 10 は、平面 15 b が光学部 20c の集光レンズ 30 側を向いて配置され、光 L b は、その全体が平面 15 b の光ファイバ 10 の軸線 C A に対する傾き側と同じ側に傾いた方向から、平面 15 b に到達して、コア 15 に入射する。別言すれば、光 L b は、光ファイバ 10 の長手方向に沿った断面で見ると、傾斜面である平面 15 b に入射する光の入射点 I P b を通り軸線 C A に平行な線 P L b と平面 15 b とが鋭角を成して囲む領域 D b から伝播する。従って、光 L b の光軸 C L b も平面 15 b の軸線 C A に対する傾き側と同じ側に傾いている。コア 15 に入射した光 L b は、コア 15 の屈折率に基づいて屈折し、コア 15 内を伝播する。

30

【 0052 】

また、光学部 20c の集光レンズ 30 から出射した光 L c は、平面 15 c 上に集光し、平面 15 c からコア 15 に入射する。このとき光 L c は、遅軸方向 S が、平面 15 c の長手方向に一致して、速軸方向 F が平面 15 c の短手方向に一致した状態で集光し、コア 15 に入射する。また、上述のように光ファイバ 10 は、平面 15 c が光学部 20b の集光レンズ 30 側を向いて配置され、光 L c は、その全体が平面 15 c の光ファイバ 10 の軸線 C A に対する傾き側と同じ側に傾いた方向から、平面 15 c に到達して、コア 15 に入射する。別言すれば、光 L c は、光ファイバ 10 の長手方向に沿った断面で見ると、傾斜面である平面 15 c に入射する光の入射点 I P c を通り軸線 C A に平行な線 P L c と平面 15 c とが鋭角を成して囲む領域 D c から伝播する。従って、光 L c の光軸 C L c も平面 15 c の軸線 C A に対する傾き側と同じ側に傾いている。コア 15 に入射した光 L c は、コア 15 の屈折率に基づいて屈折し、コア 15 内を伝播する。

40

【 0053 】

次に、光ファイバ 10 のコア 15 に光が入射する様子について、より詳しく説明する。

【 0054 】

図 4 は、特定の集光レンズ 30 から出射した光がコア 15 に入射する様子を示す図である。具体的には、光学部 20b の集光レンズ 30 から出射した光 L b が、平面 15 b からコア 15 に入射する様子を示す図である。ただし、図 4 では、理解の容易のため、光が入射する方向が図 3 と若干変えられている。

50

## 【 0 0 5 5 】

図 4 に示すように、平面 1 5 b と光ファイバ 1 0 の軸線 C A とがなす鋭角の大きさを  $\theta_{taper}$  とし、この鋭角と同位角の関係にあり、光 L b の光軸 C L b と軸線 C A とがなす角の大きさを  $\theta_{light}$  とし、光 L b の光軸 C L b に対する広がり角の大きさを  $\theta_{angle}$  とし、軸線 C A に垂直な面からコア 1 5 に光を入射するときに光がコア 1 5 から漏れいしない光の最大の入射角を  $\theta_{NA}$  とする。この光の最大の入射角  $\theta_{NA}$  は、軸線 C A に対する角度である。この  $\theta_{NA}$  は、図 4 では示されていない。なお、平面 1 5 b と軸線 C A とがなす鋭角という場合、図 4 に示すように平面 1 5 b と軸線 C A とが直接交わっている必要はなく、平面 1 5 b の延長と軸線 C A とが交わって鋭角を形成すれば良い。

## 【 0 0 5 6 】

このとき、 $\theta_{NA}$  は、コア 1 5 の屈折率  $n_{core}$  及びクラッド 1 6 の屈折率  $n_{clad}$  を用いて下記式 ( 1 ) のように表される。

## 【 数 4 】

$$\theta_{NA} = \sin^{-1} \left( \sqrt{n_{core}^2 - n_{clad}^2} \right) \quad \dots (1)$$

## 【 0 0 5 7 】

そして、本実施形態では  $\theta_{taper}$  は、下記式 ( 2 ) を満たす。

## 【 数 5 】

$$\theta_{NA} < \theta_{taper} \quad \dots (2)$$

## 【 0 0 5 8 】

式 ( 2 ) を満たすことにより、平面 1 5 b の軸線 C A に対する傾き側と同じ側に、 $\theta_{NA}$  よりも大きな角度で傾いた方向から、光 L b を平面 1 5 b に伝播することができる。つまり、軸線 C A に対して垂直な面からコア 1 5 に入射する場合にコアの開口数を超えてしまう光を平面 1 5 b の傾きと同じ側に傾いた方向、すなわち領域 D b から平面 1 5 b まで伝播することができる。

## 【 0 0 5 9 】

また、光 L b の最も平面 1 5 b に近い部分と軸線 C A とがなす角の内、平面 1 5 b と光ファイバ 1 0 の軸線 C A とがなす上記鋭角と同位角の関係にある角の大きさは、図 4 に示すように  $\theta_{light} + \theta_{angle}$  で表すことができる。そして、本実施形態では、上述のように、光 L b は、その全体が軸線 C A に対し平面 1 5 b の傾いている側と同じ側から平面 1 5 b に到達する。従って、 $\theta_{light} + \theta_{angle}$  は、下記式 ( 3 ) を満たす。

## 【 数 6 】

$$\theta_{light} + \theta_{angle} < \theta_{taper} \quad \dots (3)$$

## 【 0 0 6 0 】

このように光軸 C L b が平面 1 5 b の軸線 C A に対する傾き側と同じ側に傾いている場合に、上記式 ( 3 ) を満たすことにより、光 L b の内、光軸 C L b 上の光部分、及び、光軸 C L b よりも平面 1 5 b 側の光部分が、入射面の他の平面に遮られることなく、平面 1 5 b の軸線 C A に対する傾き側と同じ側に傾いている方向から、平面 1 5 b に到達してコア 1 5 に入射することができる。すなわち光 L b の内、少なくとも半分より大きな光部分が、平面 1 5 b の軸線 C A に対する傾き側と同じ側に傾いている方向から、平面 1 5 b に到達してコア 1 5 に入射することができる。

## 【 0 0 6 1 】

さらに、光 L b の最も平面 1 5 b から遠い部分と軸線 C A とがなす角の内、平面 1 5 b と光ファイバ 1 0 の軸線 C A とがなす上記鋭角と同位角の関係にある角の大きさは、図 4 に示すように  $\theta_{light} - \theta_{angle}$  で表すことができる。本実施形態においては、上述のように、光 L b は、その全体が平面 1 5 b の傾いている側と同じ側から平面 1 5 b に到達するため、 $\theta_{light} - \theta_{angle}$  は、上記式 ( 3 ) の他に更に下記式 ( 4 ) を満たす。

10

20

30

40

50

【数7】

$$\theta_{light} - \theta_{angle} > 0 \quad \dots (4)$$

【0062】

別言すれば、この式(4)を満たすことにより、光Lb全体が、平面15bの軸線CAに対する傾き側と同じ側に傾いた方向から、平面15bに到達してコア15に入射することができるのである。

【0063】

このように傾斜面である平面15bが光ファイバ10の軸線CAに対して傾いている側と同じ側に傾いた方向から平面15bに到達してコア15に入射する光Lbは、同じ方向から軸線CAに対して垂直な平面に到達してコア15に入射する光よりも、入射後の伝播方向が光ファイバ10の軸線CAにより近づく。例えば、図4に示すように、光軸CLbと平行な線CLb'上の光が軸線CAに垂直な平面15aに入射する場合、平面15bに入射する光軸CLb上の光は、線LCb'上の光と比べて、コア15に入射後の方向が、より軸線CAの方向に近づいている。従って、光Lbが、軸線CAに対して垂直な平面からコア15に入射する場合には、コア15の開口数を超えてしまい、コア15に入射後にクラッド16に漏えいしてしまう角度で入射するとしても、光Lbは、軸線CAに対して平面15bの傾いている側と同じ側から平面15bに入射することにより、コア15の開口数を超えることが抑制され、コア15に入射後にクラッド16に漏えいすることが抑制される。

10

20

【0064】

また、光Lcも、上述のように平面15cが光ファイバ10の軸線CAに対して傾いている側と同じ側に傾いた方向から平面15cに到達してコア15に入射する。従って、光Lcが、軸線CAに対して垂直な平面からコア15に入射する場合には、コア15の開口数を超えてしまい、コア15に入射後にクラッド16に漏れてしまう角度で入射する光であっても、平面15cの傾いている側と同じ側から平面15cに入射することにより、コア15の開口数を超えることが抑制され、入射後にクラッド16に漏れいすることが抑制される。

【0065】

つまり、光ファイバ10の軸線CAに対してより大きな角度に傾斜した方向から、コア15に光Lb, Lcを入射させても、入射後の光がクラッド16に漏れいすることを抑制できるのである。

30

【0066】

ここで、光ファイバ10の軸線CAと光Lb中の特定の光とがなす角度を $\theta_{LD}$ とすると、 $\theta_{LD}$ は、下記式(5)を満たす。

【数8】

$$\theta_{light} - \theta_{angle} \leq \theta_{LD} \leq \theta_{light} + \theta_{angle} \quad \dots (5)$$

【0067】

また、図4に示すように、光Lb中の特定の光と平面15bの垂線とがなす角の大きさを $\theta_{air}$ とし、この特定の光がコア15に入射後にこの垂線となす角の大きさを $\theta_{fiber}$ とし、この特定の光がコア15に入射後に軸線CAに垂直な線となす角の大きさを $\theta_{input}$ とする。なお、図4においては、光Lb中のこの特定の光が、光軸CLb上の光である状態について示されている。

40

【0068】

この場合 $\theta_{air}$ は、下記式(6)を満たす。

【数9】

$$\theta_{air} = 90 - \theta_{taper} + \theta_{LD} \quad \dots (6)$$

【0069】

50

なお、光 L b は、軸線 C A に対して平面 1 5 b の傾いている側と同じ側から平面 1 5 b に入射するため、 $\theta_{air}$  は、 $90^\circ$  より小さい角度となる。

【0070】

次に、スネルの法則により、 $\theta_{fiber}$  はコア 1 5 の屈折率  $n_{core}$  を用いると、下記式 (7) を満たす。

【数10】

$$\theta_{fiber} = \arcsin(\sin(\theta_{air}) / n_{core}) \quad \dots (7)$$

【0071】

ところで、 $\theta_{input}$  は、上記の条件から下記式 (8) のように書くことができる。

10

【数11】

$$\theta_{input} = \theta_{fiber} + \theta_{taper} \quad \dots (8)$$

【0072】

ここで特定の光がコア 1 5 とクラッド 1 6 で反射して、コア 1 5 を伝播するためには、クラッド 1 6 の屈折率を  $n_{clad}$  として、下記式 (9) を満たせばよい。

【数12】

$$n_{core} / n_{clad} \times \sin(\theta_{input}) \geq 1 \quad \dots (9)$$

【0073】

20

この式 (9) に上記式 (5) ~ (8) を適用して、下記式 (10) 及び式 (11) で示される条件を得る。

【数13】

$$\frac{n_{core}}{n_{clad}} \times \sin \left( \sin^{-1} \left( \frac{\sin \left( \frac{\pi}{2} - \theta_{taper} + \theta_{light} + \theta_{angle} \right)}{n_{core}} \right) + \theta_{taper} \right) \geq 1 \quad \dots (10)$$

$$\frac{n_{core}}{n_{clad}} \times \sin \left( \sin^{-1} \left( \frac{\sin \left( \frac{\pi}{2} - \theta_{taper} + \theta_{light} - \theta_{angle} \right)}{n_{core}} \right) + \theta_{taper} \right) \geq 1 \quad \dots (11)$$

30

【0074】

つまり、光 L b が上記の式 (10) 及び式 (11) を満たせば、光ファイバ 1 0 が曲げられる等の条件とされない限り、入射後の光がクラッド 1 6 に漏れいすることを防止することができる。

【0075】

40

さらに、光 L b が、式 (10)、式 (11) を満たし、コア 1 5 に入射後に、光軸が軸線 C A と平行とされれば、光ファイバ 1 0 が曲がっている領域においても、光がコア 1 5 の開口数を超えて、クラッド 1 6 に漏れいすることをより抑制することができる。

【0076】

また、上述のように、光 L c も、平面 1 5 c が軸線 C A に対して傾斜している側と同じ側に傾いた方向から伝播して、平面 1 5 c からコア 1 5 に入射する。従って、上記図 4 を用いた上記説明において、平面 1 5 b を平面 1 5 c と読み替え、光 L b を光 L c と読み替え、光軸 C L b を光軸 C L c と読み替えることができる。

【0077】

以上説明したように、本実施形態のレーザモジュール 1 においては、光 L b、L c は、

50

傾斜面である平面 15 b, 15 c が光ファイバ 10 の軸線 CA に対して傾いている側と同じ側に傾いた方向から伝播して、平面 15 b, 15 c からコア 15 に入射する。つまり、光 L b, L c は、それぞれ領域 D b, D c から平面 15 b, 15 c からコア 15 に入射する。従って、複数の半導体レーザ素子から出射する光 L b, L c は、軸線 CA に垂直な平面からコア 15 に入射する場合と比べて、コア 15 に入射後にクラッド 16 に漏えいすることが抑制されている。このため、本実施形態のレーザモジュール 1 によれば、複数の半導体レーザ素子から出射する光を効率よく出射することができる。

【0078】

また、本実施形態のレーザモジュール 1 は、上記式 (2) を満たしているため、光ファイバの軸線に対して垂直な入射面からコアに光を入射する場合よりも、光ファイバ 10 の軸線 CA に対してより大きな角度に傾斜した方向から、光 L b, L c をコア 15 に入射させることができる。このため、より多くのレーザ素子 21 を並べて、それぞれのレーザ素子 21 から出射する光をコア 15 に入射することができる。こうして、本実施形態のレーザモジュール 1 は、強度の大きな光を出射することができる。

10

【0079】

更に本実施形態のレーザモジュール 1 では、光 L a が光ファイバ 10 の軸線 CA に垂直な平面 15 a からコア 15 に入射している。この光 L a は、従来の光ファイバに対する光の入射と同様にして入射することができる。従って、本実施形態のレーザモジュール 1 によれば、従来のレーザモジュールと同様にしてレーザ素子 21 から出射する光を光ファイバ 10 に入射して伝播させることができることに加えて、上記のように大きな角度から光 L b, L c を入射して伝播させることができるので、従来の光モジュールと比べて、より多くの光を光ファイバ 10 に入射して伝播させることができ、より多くレーザ素子から出射した光を光ファイバ 10 に入射して伝播させることができる。

20

【0080】

なお、本実施形態においては、光 L b の全体、及び光 L c の全体が、それぞれ平面 15 b, 15 c が光ファイバ 10 の軸線 CA に対して傾いている側と同じ側に傾いた方向から伝播して、平面 15 b, 15 c からコア 15 に入射するものとした。しかし、光 L b, L c は、光軸 C L b, C L c が平面 15 b, 15 c の軸線 CA に対する傾き側と同じ側に傾いた状態で伝播して、かつ、上記の式 (3) を満たせば良い。つまり、光 L b, L c のそれぞれの内、光軸 C L b, C L c よりも平面 15 b, 15 c から離れた少なくとも一部が、平面 15 b, 15 c が光ファイバ 10 の軸線 CA に対して傾いている側と同じ側に傾いた方向から伝播しなくても良い。この場合、光 L b, L c の内一部の光は、上記の式 (4) を満たさない。この場合であっても、光 L b, L c のそれぞれにおいて、光軸 C L b, C L c 上の光部分、及び、光軸 C L b, C L c よりも平面 15 b, 15 c 側の光部分は、平面 15 b, 15 c が光ファイバ 10 の軸線 CA に対して傾いている側と同じ側に傾いた方向から伝播する。つまり、光 L b, L c の内、それぞれ少なくとも半分より大きな光部分が、平面 15 b, 15 c の軸線 CA に対する傾き側と同じ側に傾いた方向から平面 15 b, 15 c に到達してコア 15 に入射する。これらの光部分は、上記の説明からも明らかなように、大きな角度でコア 15 に入射しても、軸線 CA に垂直な面からコア 15 に入射する場合と比べて、クラッド 16 に漏えいすることが抑制される。このように少なくとも半分より大きな光部分がより大きな角度からコア 15 に入射してもクラッド 16 に漏えいすることが抑制される光 L b, L c が合わさることにより、コア 15 に入射する光全体として見れば、従来の光モジュールと比べて、より大きな角度から光ファイバ 10 に光を入射して、この光を伝播させることができる。従って、より多くのレーザ素子を並べて、それぞれのレーザ素子から出射する光を光ファイバ 10 に入射して伝播することができる。

30

40

【0081】

また、上述のように平面 15 b, 15 c は、軸線 CA を基準として互いに対称な方向に傾斜する傾斜面とされている。従って、平面 15 b からコア 15 に入射する光を出射する光学部 20 b と、平面 15 c からコア 15 に入射する光を出射する光学部 20 c とを光ファイバ 10 の軸線 CA に対して対称に配置することができる。従って、それぞれの光学部

50

20b, 20cを配置する空間を効率的に利用でき、より多くのレーザー素子21を配置することができる。

【0082】

また、それぞれの平面15a~15cは、細長い形状をしており、それぞれの光La~Lcは、遅軸方向Sが平面15a~15cの長手方向に一致し状態で、それぞれの平面からコア15に入射している。通常、レーザー素子から出射する光の光軸に垂直な断面における形状は、遅軸方向が長く、速軸方向が短い。従って、本実施形態のように、それぞれの平面15a~15cの長手方向と光の遅軸方向Sとを合わせることで、効率的に光La~Lcをコア15に入射させることができる。

【0083】

(第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態について図5, 図6を参照して詳細に説明する。なお、第1実施形態と同一又は同等の構成要素については、特に説明する場合を除き、同一の参照符号を付して重複する説明は省略する。

【0084】

図5は、本実施形態に係るレーザーモジュールを示す概念図である。図5に示すように、本実施形態のレーザーモジュール2は、光学部複数の光学部20d, 20eと、それぞれの光学部20d, 20eから出射する光が入射する光ファイバ11を主な構成として備える。

【0085】

本実施形態では、光学部20d及び光学部20eは、それぞれ並列に配置されている。

【0086】

光学部20d及び光学部20eは、それぞれ第1実施形態の光学部20aと同様の構成を備える。ただし、光学部20dは、集光レンズ30から出射したそれぞれの光Ldが、光ファイバ11の一方の端部において、中心よりも光学部20eの集光レンズ30側に集光する点において第1実施形態の光学部20aと異なる。また、光学部20eは、集光レンズ30から出射したそれぞれの光Leが、光ファイバ11の一方の端部において、中心よりも光学部20dの集光レンズ30側に集光する点において光学部20aと異なる。光学部20d及び光学部20eのそれぞれの集光レンズ30は、上記のように光が集光するように、僅かに位置がずれた状態で配置されている。なお、図5においては、それぞれの光学部20d, 20eを点線の四角で示し、それぞれの光学部20d, 20eにおいて、集光レンズ30のみを記載している。

【0087】

図6は、図5の光ファイバ11の一方の端部の様子を示す図である。光ファイバ11は、図6に示すように、断面における構造が第1実施形態の光ファイバ10と同様であり、コア15とクラッド16とを有する。また、光ファイバ11は、光が入射する一方の端部に形成される光の入射面の構造が第1実施形態の光ファイバ10と異なり、コア15の入射面が2つの平面15d, 15eから構成されている。

【0088】

2つの平面15d, 15eは、軸線CAと垂直に交わる線を境界線として互いに隣り合い、軸線CAに対して、互いに対称な方向に傾斜する傾斜面とされている。また、平面15d, 15eは互いに合同の形状をしており、平面15d, 15eの境界線の方が長手方向とされ、これと垂直な方向が短手方向とされる長細い形状をしている。こうして、2つの平面(傾斜面)15d, 15eのうち、一つの平面15dは、他の一つの平面15eを軸線CAを基準に回転させた面に一致している。

【0089】

このように光の入射面が平面15d, 15eから成る光ファイバ11は、図5に示すように、光学部20dの集光レンズ30側に平面15eが位置し、光学部20eの集光レンズ30側に平面15dが位置して、さらに、光学部20dからの光が平面15d上に集光し、光学部20eからの光が平面15e上の集光するように配置されている。

10

20

30

40

50

## 【0090】

そして、光学部20d, 20eの集光レンズ30から出射したそれぞれの光Ld, Leは、それぞれ平面15d, 15e上に集光してそれぞれの平面15d, 15eからコア15に入射する。このときそれぞれの光Ld, Leは、遅軸方向Sが、それぞれの平面15d, 15eの長手方向に一致して、速軸方向Fがそれぞれの平面15d, 15eの短手方向に一致した状態で集光し、コア15に入射する。また、上述のように光ファイバ11は、平面15dが光学部20eの集光レンズ30側を向き、平面15eが光学部20dの集光レンズ30側を向いて配置され、それぞれの光Ld, Leは、その全体がそれぞれの平面15d, 15eの軸線CAに対する傾き側と同じ側に傾いた方向から、それぞれの平面15d, 15eに到達して、コア15に入射する。つまり、光Ldは、光ファイバ11の長手方向に沿った断面で見ると、傾斜面である平面15dに入射する光の入射点を通り軸線CAに平行な線と平面15dとが鋭角を成して囲む領域から伝播し、光Leは、光ファイバ11の長手方向に沿った断面で見ると、傾斜面である平面15eに入射する光の入射点を通り軸線CAに平行な線と平面15eとが鋭角を成して囲む領域から伝播する。

10

## 【0091】

コア15に入射したそれぞれの光は、コア15の屈折率に基づいて屈折し、コア15内を伝播する。

## 【0092】

また、このように光Ld, Leは、平面15d, 15eが軸線CAに対して傾斜している側と同じ側に傾いた方向から伝播して、それぞれの平面15d, 15eからコア15に入射する。従って、第1実施形態における図4を用いた説明において、平面15bを平面15d, 15eと読み替え、光Lbを光Ld, Leと読み替え、光Ld, Leの光軸をそれぞれ光軸CLd, CLeとする場合に、光軸CLbを光軸CLd, CLeと読み替えることができる。なお、本実施形態では、光軸CLd, CLeは特に図示されていない。

20

## 【0093】

本実施形態のレーザモジュール2においては、光ファイバ11のコア15の入射面が軸線CAに垂直な面を有していないが、光Ld, Leは、傾斜面である平面15d, 15eが光ファイバ11の軸線CAに対して傾いている側と同じ側に傾いた方向から伝播して、平面15d, 15eからコア15に入射する。従って、第1実施形態において、光Lb, Lcを光ファイバ10の軸線CAに対してより大きな角度に傾斜した方向からコア15に入射させることができることと同様の考えにより、光Ld, Leを光ファイバ11の軸線CAに対してより大きな角度に傾斜した方向からコア15に入射させることができる。このため、本実施形態のレーザモジュール2においても、より多くのレーザ素子21を並べて、それぞれのレーザ素子21から出射する光をコア15に入射することができ、強度の大きな光を出射することができる。

30

## 【0094】

また、上記のように第1実施形態における図4を用いた説明において、平面15bを平面15d, 15eと読み替え、光Lbを光Ld, Leと読み替え、光Ld, Leの光軸をそれぞれ光軸CLd, CLeとして、光軸CLbを光軸CLd, CLeと読み替える場合に、光軸CLd, CLeが平面15d, 15eの軸線CAに対する傾き側と同じ側に傾いた状態で伝播して、式(3)を満たせば良い。つまり、本実施形態においても第1実施形態と同様に、光Ld, Leのそれぞれの内、光軸CLd, CLeよりも平面15d, 15eから離れた側の少なくとも一部が、光ファイバ11の軸線CAに対して傾いている側と同じ側に傾いた方向から伝播しなくても良い。この場合であっても、第1実施形態と同様の理由から、光Ld, Leの内、それぞれ少なくとも半分より大きな光部分がより大きな角度からコア15に入射しても、クラッド16に漏えいすることが抑制されるので、光Ld, Leが合わさることにより、コア15に入射する光全体として、より大きな角度から光ファイバ11に光を入射して、この光を伝播させることができる。また、この場合それぞれの光Ld, Leの開口数を上げることが可能であるため、光Ld, Leのそれぞれの

40

50

集光部分での光路長を短くすることが可能となる。光路長を短くできることにより個々の光のばらつきが集光の精度に影響を及ぼすことを抑制でき、結果として更なるファイバ出力の改善に寄与することができる。

【0095】

また、本実施形態によるレーザモジュール2によれば、光ファイバ11のコア15の光の入射面が、軸線CAに垂直な垂直面を有しないため、光路長の同じビームを整列させることが可能になり、結果としてファイバ出力の改善に寄与することができる。

【0096】

(第3実施形態)

次に、本発明の第3実施形態について図7, 図8を参照して詳細に説明する。なお、第1実施形態と同一又は同等の構成要素については、特に説明する場合を除き、同一の参照符号を付して重複する説明は省略する。

【0097】

図7は、本実施形態に係るレーザモジュールを示す概念図である。図7に示すように、本実施形態のレーザモジュール3は、光学部複数の光学部20f~20jと、それぞれの光学部20f~20jから出射する光が入射する光ファイバ12を主な構成として備える。

【0098】

本実施形態では、光学部20f, 20g, 20hは、光学部20fが光学部20g, 20hに挟まれるようにして、それぞれ並列に配置されている。また、光学部20i, 20jは、光学部20fが光学部20i, 20jに挟まれるようにして、光学部20f, 20g, 20hの配列方向と直行する方向にそれぞれ並列に配置されている。

【0099】

光学部20f~20jは、それぞれ第1実施形態の光学部20aと同様の構成を備える。ただし、光学部20gは、集光レンズ30から出射したそれぞれの光Lgが、光ファイバ12の一方の端部において、中心よりも光学部20hの集光レンズ30側に集光する点において第1実施形態の光学部20aと異なり、光学部20hは、集光レンズ30から出射したそれぞれの光Lhが、光ファイバ12の一方の端部において、中心よりも光学部20gの集光レンズ30側に集光する点において光学部20aと異なる。また、光学部20iは、集光レンズ30から出射したそれぞれの光Liが、光ファイバ11の一方の端部において、中心よりも光学部20jの集光レンズ30側に集光する点において第1実施形態の光学部20aと異なり、光学部20jは、集光レンズ30から出射したそれぞれの光Ljが、光ファイバ12の一方の端部において、中心よりも光学部20iの集光レンズ30側に集光する点において光学部20aと異なる。光学部20g~20jのそれぞれの集光レンズ30は、上記のように光が集光するように、僅かに位置がずれた状態で配置されている。なお、図7においても、図5と同様にして、それぞれの光学部20f~20jを点線の四角で示し、それぞれの光学部20f~20jにおいて集光レンズ30のみを記載しており、また、図が煩雑となることを避けるため、それぞれの光学部20f~20jから出射する光を光軸上の光のみで示している。

【0100】

図8は、本実施形態のレーザモジュール3に用いる光ファイバ12の一方の端部の様子を示す図である。図8に示すように光ファイバ12は、断面における構造が第1実施形態の光ファイバ10と同様とされ、コア15とクラッド16とを有する。また、光ファイバ12は、光が入射する一方の端部に形成される光の入射面の構造が第1実施形態の光ファイバ10と異なり、コア15の入射面が5つの平面15f~15jから構成されている。中心の平面15fは、光ファイバ12の軸線CAに対して垂直な垂直面とされ、この平面15fは、略正方形の形状をしており、第1実施形態における平面15aの長手方向の両端部を切り取った形状に一致している。また、2つの平面15g, 15hは、平面15fに隣接して、互いに合同の形状をしており、それぞれ第1実施形態の平面15b, 15cの長手方向の両端部を切り取った形状に一致している。また、平面15i, 15jは、互

10

20

30

40

50

いに合同の形状をしており、平面15g, 15hが軸線CAを中心に90°回転された形状とされている。つまり、それぞれの四つの平面15g, 15h, 15i, 15jのうち、一つの傾斜面(例えば、15g)は、他の一つの傾斜面(15h, 15i, 15j)を軸線CAを基準に回転させた面に一致している。

【0101】

このように光の入射面が平面15f~15jから成る光ファイバ12は、図7に示すように、光学部20fの集光レンズ30に平面15fが対向し、光学部20gの集光レンズ30側に平面15hが位置し、光学部20hの集光レンズ30側に平面15gが位置し、光学部20iの集光レンズ30側に平面15jが位置し、光学部20jの集光レンズ30側に平面15iが位置して、さらに、光学部20gからの光が平面15g上に集光し、光学部20hからの光が平面15h上の集光し、光学部20iからの光が平面15i上に集光し、光学部20jからの光が平面15j上の集光するように配置されている。

10

【0102】

そして、第1実施形態において、光学部20aの集光レンズ30から出射した光が平面15aからコア15に入射するのと同様にして、光学部20fの集光レンズ30から出射した光は、平面15fからコア15に入射する。また、光学部20g~20jの集光レンズ30から出射したそれぞれの光Lg~Ljは、それぞれ平面15g~15j上に集光して、それぞれの平面15g~15jからコア15に入射する。上述のように光ファイバ12は、平面15gが光学部20hの集光レンズ30側を向き、平面15hが光学部20gの集光レンズ30側を向き、平面15iが光学部20jの集光レンズ30側を向き、平面15jが光学部20iの集光レンズ30側を向いて配置され、それぞれの光Lg~Ljは、その全体がそれぞれの平面15g~15jの軸線CAに対する傾き側と同じ側に傾いた方向から、それぞれの平面15g~15jに到達して、コア15に入射する。つまり、光Lg~Ljは、光ファイバ11の長手方向に沿った断面で見ると、それぞれ傾斜面である平面15g~15jに入射する光の入射点を通り軸線CAに平行な線と平面15g~15jとが鋭角を成して囲む領域から伝播して、コア15に入射する。

20

【0103】

コア15に入射したそれぞれの光は、コア15の屈折率に基づいて屈折し、コア15内を伝播する。

【0104】

また、このようにそれぞれの光Lg~Ljは、上述のように、平面15g~15jが軸線CAに対して傾斜している側と同じ側に傾いた方向から伝播して、それぞれの平面15h~15jからコア15に入射する。従って、第1実施形態における図4を用いた説明において、平面15bを平面15g~15jと読み替え、光Lbを光Lg~Ljと読み替え、光Lg~Ljの光軸をそれぞれ光軸CLg~CLjとする場合に、光軸CLbを光軸CLg~CLjと読み替えることができる。なお、本実施形態では、光軸CLg~CLjは特に図示されていない。

30

【0105】

本実施形態のレーザモジュール3によれば、第1実施形態のレーザモジュール1と比べてより多くの傾斜面から光を光ファイバ12に入射することができる。従って、より強度の大きな光を出射することができる。

40

【0106】

また、上記のように第1実施形態における図4を用いた説明において、平面15bを平面15g~15jと読み替え、光Lbを光Lg~Ljと読み替え、光Lg~Ljの光軸をそれぞれ光軸CLg~CLjとして、光軸CLbを光軸CLg~CLjと読み替える場合に、光軸CLg~CLjが平面15g~15jの軸線CAに対する傾き側と同じ側に傾いた状態で伝播して、式(3)を満たせば良い。つまり、本実施形態においても第1実施形態と同様に、それぞれの光Lg~Ljの内、光軸CLg~CLjよりも平面15g~15jから離れた側の少なくとも一部が、平面15g~15jが光ファイバ12の軸線CAに対して傾いている側と同じ側に傾いた方向から伝播しなくても良い。この場合であっても

50

、第1実施形態と同様の理由から、光 $L_g \sim L_j$ の内、それぞれ少なくとも半分より大きな光部分がより大きな角度からコア15に入射しても、クラッド16に漏えいすることが抑制されるので、光 $L_g \sim L_j$ が合わさることにより、コア15に入射する光全体として、より大きな角度から光ファイバ12に光を入射して、この光を伝播させることができる。

【0107】

以上、本発明について、第1～第3実施形態を例に説明したが、本発明はこれらに限定されるものではない。

【0108】

例えば、第1～第3実施形態の光ファイバ10～12において、コア15の入射面が複数の傾斜面を有していたが、本発明においては、コア15の入射面は、1つの傾斜面と1つの垂直面のみからなっても良い。このような例としては、第1実施形態のレーザモジュール1が、光学部20cを備えておらず、光ファイバ10のコア15における光の入射面が、垂直面である平面15a及び傾斜面である平面15bのみを有している場合を挙げることができる。この場合、例えば、コア15の入射面を光ファイバの軸線CAに沿って見る場合に、平面15cが形成されている領域まで平面15aが形成されていれば良い。そして、第1実施形態と同様に平面15aには、従来の光ファイバに対する光と同様にして光を入射することができる。また、平面15bには、第1実施形態の光ファイバ10の平面15bに大きな角度から光を入射できる理由と同様の理由により、大きな角度から光を入射することができる。従って、垂直面に従来のレーザモジュールと同様にしてレーザ素子から出射する光を光ファイバに入射して伝播させることができることに加えて、傾斜面に大きな角度から光を入射して伝播させることができるので、従来の光モジュールと比べて、より多くレーザ素子から出射した光を光ファイバに入射して伝播させることができる。

【0109】

また、上記実施形態において、それぞれの光 $L_a \sim L_j$ は、複数のレーザ素子21から出射されたレーザ光が、光ファイバのコア15の入射面上に集光される光とされたが、それぞれの光 $L_a \sim L_j$ は、それぞれ1つのレーザ素子21から出射された光から構成されていても良い。

【0110】

また、上記実施形態では、それぞれの光学部20a～20jが、それぞれ集光レンズ30を有していたが、レーザモジュール1～3のそれぞれにおいて、それぞれの光学部が1つの集光レンズを共有する構成であっても良い。

【0111】

また、上記実施形態では、それぞれの光学部が並列に配置されていたが、それぞれの光学部が出射する光が、上記実施形態と同様に光ファイバに入射すれば、それぞれの光学部の少なくとも一部が並列に配置されていなくても良い。

【産業上の利用可能性】

【0112】

以上説明したように、本発明によれば、強度の大きな光を出射することができるレーザモジュールが提供され、ファイバレーザ装置や光ファイバ増幅器等の励起光源等に用いることができる。

【符号の説明】

【0113】

- 1～3・・・レーザモジュール
- 10～12・・・光ファイバ
- 15・・・コア
- 15a～15j・・・平面
- 16・・・クラッド
- 20a～20j・・・光学部

10

20

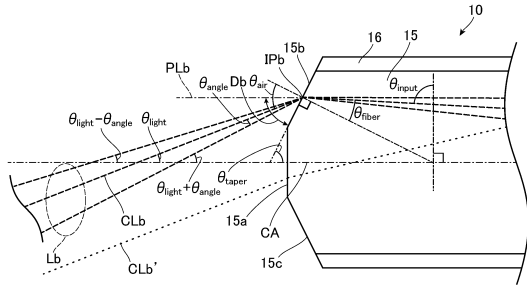
30

40

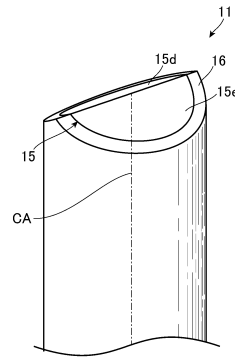
50



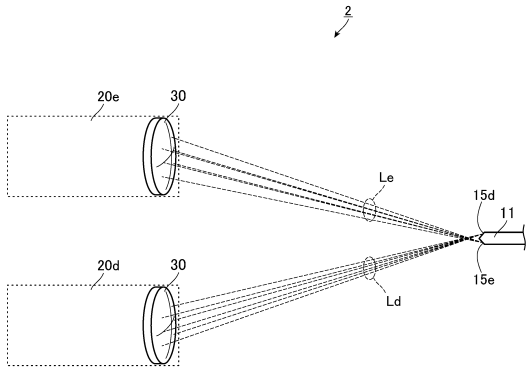
【 図 4 】



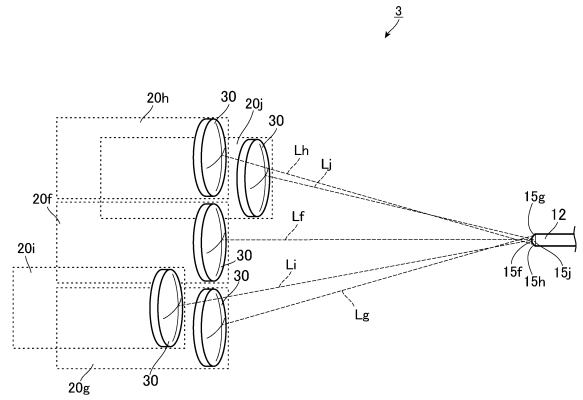
【 図 6 】



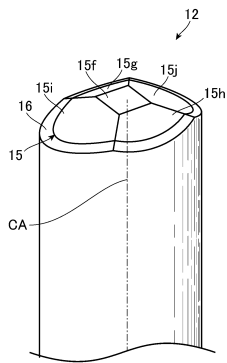
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 8 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平10-307230(JP,A)  
特開昭54-019762(JP,A)  
特開2011-243717(JP,A)  
国際公開第2011/091170(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/02  
G02B 6/26 - 6/43  
G02B 27/09 - 27/10  
H01S 5/022